



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002122784 A**(43) Date of publication of application: **26.04.02**

(51) Int. Cl.

G02B 17/08
G02B 5/10
G02B 5/32
G02B 7/08
G02B 7/28
G02B 25/00
G02B 27/02
G02F 1/13
G03B 13/36
G03B 5/00
G03B 13/06
G03B 13/12
G03B 17/02
G03B 17/17
G03B 19/12
H04N 5/225
H04N 5/232
H04N 5/64

(21) Application number: **2000310922**(22) Date of filing: **11.10.00**(30) Priority: **08.08.00 JP 2000239629**(71) Applicant: **OLYMPUS OPTICAL CO LTD**

(72) Inventor:
NISHIOKA KIMIHIKO
NAGAOKA TOSHIYUKI
HAYAKAWA KAZUHITO
TAKEYAMA TETSUEI

(54) **OPTICAL DEVICE**

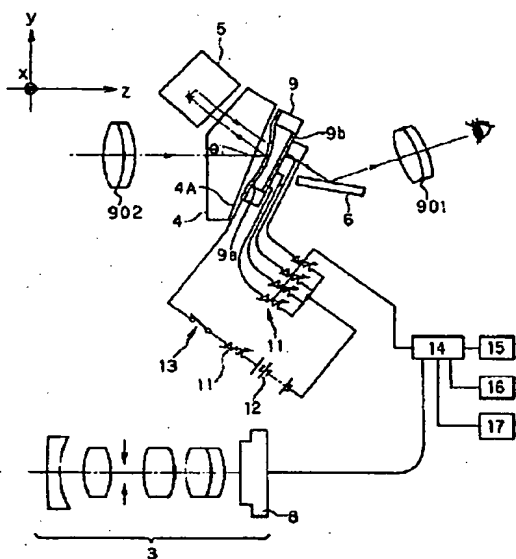
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical device capable of attaining a diopter adjustment, without having a mechanical movable part by using, for example, a reflection type optical characteristic variable optical element and an optical characteristic variable mirror, etc.

SOLUTION: The optical characteristic variable mirror 9 is constituted of a thin film 9a coated with aluminum,

and plural electrodes 9b, and a power source 12 is connected between the thin film 9a and the electrodes 9b through a variable resistor 11 and a power source switch 13, and the resistance value of the variable resistor 11 is controlled by a calculating device 14. The shape of the thin film 9a functioning as a reflection surface is controlled, by varying the resistance value of the variable resistor 11 based on a signal from the calculating device 14, so that an optimum image forming performance can be obtained.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-122784
(P2002-122784A)

(43) 公開日 平成14年4月26日 (2002.4.26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
G 0 2 B	17/08	G 0 2 B	17/08
	5/10		5/10
	5/32		5/32
	7/08		7/08
	7/28		25/00
			A 2 H 0 1 1
			B 2 H 0 1 8
			2 H 0 4 2
			C 2 H 0 4 4
			A 2 H 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 60 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-310922(P2000-310922)

(22) 出願日 平成12年10月11日 (2000.10.11)

(31) 優先権主張番号 特願2000-239629(P2000-239629)

(32) 優先日 平成12年8月8日 (2000.8.8)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000000376
オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 西岡 公彦
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 永岡 利之
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100097777
弁理士 荏澤 弘 (外7名)

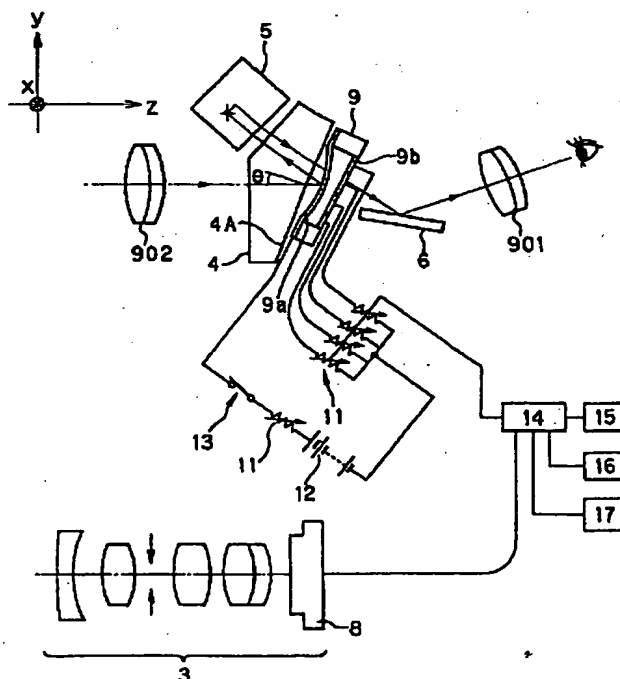
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学装置

(57) 【要約】

【課題】 例えば反射型の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー等を用いて機械的可動部なしで視度調節等を実現する光学装置。

【解決手段】 光学特性可変ミラー9は、アルミコーティングされた薄膜9aと複数の電極9bからなる光学特性可変ミラーであり、可変抵抗器11と電源スイッチ13を介して薄膜9aと電極9b間に電源12が接続され、可変抵抗器11の抵抗値は演算装置14により制御される。反射面としての薄膜9aの形状は、結像性能が最適になるように演算装置14からの信号により各可変抵抗器11の抵抗値を変化させることにより制御される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正の何れかを行うことを特徴とする光学系。

【請求項 2】 自由曲面可変ミラーを有し、可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正の何れかを行うことを特徴とする光学系。

【請求項 3】 1面以上の拡張曲面と可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光学装置に関し、例えば眼で観察を行う光学系を備えた光学装置、あるいは、撮像光学系を備えた光学装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 デジタルカメラのケプラー式ファインダー等では、観察者の視度に合わせて視度調節を行う必要がある。このため、図 68 に示すように、対物レンズ 902、ポロ I I 型プリズム 903、接眼レンズ 901 からなる従来例のファインダーでは、接眼レンズ 901 を前後に動かしている。しかし、レンズを前後に動かすための機械的構造物が必要で、スペースをとる等の欠点があった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、例えば反射型の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー等を用いて機械的可動部なしで視度調節等を実現する光学装置を提供することである。

【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明の光学装置は、例えば次のようなものを含むものである。

【0005】 [1] 光学特性可変光学素子。

【0006】 [2] 光学特性可変ミラー。

【0007】 [3] 静電気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0008】 [4] 有機材料あるいは合成樹脂を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0009】 [5] 電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0010】 [6] 永久磁石を備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0011】 [7] コイルと永久磁石とを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0012】 [8] 永久磁石と、ミラー基板と一体化されたコイルとを備え、電磁気力を用いたことを特徴と

する上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0013】 [9] コイルと、ミラー基板と一体化された永久磁石とを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0014】 [10] 複数のコイルと、ミラー基板と一体化された永久磁石とを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0015】 [11] 複数のコイルと永久磁石とを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0016】 [12] 永久磁石と、ミラー基板と一体化された複数のコイルとを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0017】 [13] コイルを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0018】 [14] 複数のコイルを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0019】 [15] 強磁性体を備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0020】 [16] 強磁性体と対向配置されたコイルを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0021】 [17] 強磁性体のミラー基板とコイルとを備え、電磁気力を用いたことを特徴とする上記 2 記載の光学特性可変ミラー。

【0022】 [18] 流体で駆動されることを特徴とする可変ミラー。

【0023】 [19] 流体で駆動されることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0024】 [20] 光学特性可変レンズとミラーを組み合わせてなることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0025】 [21] 光学特性が可変で拡張曲面を備えたことを特徴とする光学素子。

【0026】 [22] 複数の電極を備えていることを特徴とする光学特性可変光学素子。

【0027】 [23] 複数の電極を備えていることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0028】 [24] 複数の電極が同一の平面にない複数の電極を備えていることを特徴とする上記 23 記載の光学特性可変ミラー。

【0029】 [25] 複数の電極を備え、複数の電極が曲面上に形成されていることを特徴とする上記 23 記載の光学特性可変ミラー。

【0030】 [26] 静電気力で駆動することを特徴とする上記 2、20～23 の何れか 1 項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、光学素子。

【0031】 [27] 圧電物質を用いたことを特徴と

する上記 2、20~23 の何れか 1 項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、光学素子。

【0032】〔28〕 複数の電極を備えたことを特徴とする光学特性可変レンズ。

【0033】〔29〕 液晶を用いたことを特徴とする上記 1、20~22、28 の何れか 1 項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、光学特性可変レンズ。

【0034】〔30〕 周波数を変化させることで液晶の配向を変えることを特徴とする上記 29 記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、光学特性可変レンズ。

【0035】〔31〕 ある状態での面形状が回転二次曲面の一部に近い形状であることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0036】〔32〕 ある状態での面形状の回転二次曲面の一部からのズレが式 (2) を満たすことを特徴とする上記 31 記載の光学特性可変ミラー。

【0037】〔33〕 ある状態での面形状の回転二次曲面の一部からのズレが 1 mm 以内であることを特徴とする上記 31 記載の光学特性可変ミラー。

【0038】〔34〕 反射面の一部に光を反射しない部分を有することを特徴とする上記 31 記載の光学特性可変ミラー。

【0039】〔35〕 光学特性可変ミラーに対向する部材の表面に電極を設けたことを特徴とする上記 31 記載の光学特性可変ミラー。

〔36〕 形状を制御する情報をメモリに記憶していることを特徴とする上記 31 記載の光学特性可変ミラー。

〔37〕 光学特性可変ミラーに対向して設けられた光学素子の屈折率が式 (1) を満たすことを特徴とする光学系。

【0040】〔38〕 上記 1 から 37 の何れか 1 項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、可変ミラー、光学素子、光学特性可変レンズ又は光学系を備えたことを特徴とする光学系。

【0041】〔39〕 拡張曲面プリズムを含むことを特徴とする上記 38 記載の光学系。

【0042】〔40〕 光学特性可変ミラーに対して光線を斜入射される光学特性可変ミラーを備えた上記 38 記載の光学系。

【0043】〔41〕 合成樹脂を用いた光学素子、あるいは、合成樹脂を用いた枠を含むことを特徴とする上記 38 から 40 の何れか 1 項記載の光学系。

【0044】〔42〕 光学特性可変光学素子の光学特性を変化させることにより、光学系の結像状態の変化を補償することを特徴とする光学系。

【0045】〔43〕 光学特性可変光学素子の光学特性を変化させることにより、光学系の温度変化、湿度変化、製作誤差、ブレ、ピンツ、視度の何れ 1 つ以上を主

に補償することを特徴とする光学系。

【0046】〔44〕 光学特性可変光学素子を備えたブレ防止を行うことを特徴とする光学系。

【0047】〔45〕 光学特性可変光学素子を備えており解像力を向上させることを特徴とする光学系。

【0048】〔46〕 光学特性可変光学素子を備えたズーム機能あるいは可変焦点機能を備えたことを特徴とする光学系。

【0049】〔47〕 光学特性可変光学素子、又は、拡張曲面プリズムの少なくとも 1 つ以上を備え、信号伝達又は信号処理機能を備えたことを特徴とする光学系。

【0050】〔48〕 偶数個の光学特性可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0051】〔49〕 偶数個の反射面を持つ光学系において、偶数個の光学特性可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0052】〔50〕 偶数個の反射面を持つ光学系において、静電気力あるいは流体で駆動する光学特性可変ミラーを偶数個有することを特徴とする光学系。

【0053】〔51〕 偶数、かつ、4 個以上の反射面を持つ光学系において、静電気力あるいは流体で駆動することを特徴とする光学特性可変ミラーを偶数個有する光学系。

【0054】〔52〕 複数の光学特性可変ミラーを備え、かつ、式 (8) を満たすことを特徴とする光学系。

【0055】〔53〕 上記 38 から 41 の何れか 1 項記載の光学系を備えたことを特徴とする上記 42 から 52 の何れか 1 項記載の光学系。

【0056】〔54〕 可変ミラーを備えたブレ防止を行うことを特徴とする光学系。

【0057】〔55〕 可変レンズを備えたブレ防止を行うことを特徴とする光学系。

【0058】〔56〕 光学特性可変ミラーと回転対称面を有する光学素子を備えたことを特徴とする結像光学系。

【0059】〔57〕 光学特性可変ミラーと回転対称面を有する光学素子を備えたことを特徴とする電子撮像装置用光学系。

【0060】〔58〕 光学特性可変ミラーと回転対称面を有する光学素子を備えたことを特徴とする側視あるいは斜視の電子内視鏡用光学系。

【0061】〔59〕 光学特性可変ミラーと回転対称面を有する光学素子とプリズムを備えたことを特徴とする側視あるいは斜視の電子内視鏡用光学系。

【0062】〔60〕 複数の光学特性可変ミラーと回転対称面を有する光学素子を備えた結像光学系。

【0063】〔61〕 複数の光学特性可変ミラーと回転対称面を有する光学素子を備えたことを特徴とする電子撮像装置用光学系。

【0064】〔62〕 複数の光学特性可変ミラーと回

転対称面を有する光学素子を備え、ズーム機能を有することを特徴とする電子撮像装置用光学系。

【0065】〔63〕 複数の焦点距離を切り換えることが可能な光学特性可変光学素子を備えたことを特徴とする光学系。

【0066】〔64〕 上記38から63の何れか1項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、可変ミラー、光学素子、光学特性可変レンズ、光学系又は結像光学系を備えていることを特徴とする撮像装置。

【0067】〔65〕 上記38から63の何れか1項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、可変ミラー、光学素子、光学特性可変レンズ、光学系又は結像光学系を備えていることを特徴とする電子撮像装置。

【0068】〔66〕 上記38から63の何れか1項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、可変ミラー、光学素子、光学特性可変レンズ、光学系又は結像光学系を備えていることを特徴とする観察装置。

【0069】〔67〕 上記38から63の何れか1項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、可変ミラー、光学素子、光学特性可変レンズ、光学系又は結像光学系を備えていることを特徴とする光学装置。

【0070】〔68〕 上記38から63の何れか1項記載の光学特性可変光学素子、光学特性可変ミラー、可変ミラー、光学素子、光学特性可変レンズ、光学系又は結像光学系を備えていることを特徴とする結像装置。

【0071】〔69〕 奇数個の反射面を有する光学系を備え、光学特性可変ミラーと画像の反転処理部とを備えたことを特徴とする光学装置。

【0072】〔70〕 奇数個の反射面を有する光学系を備え、光学特性可変ミラーと画像の反転処理部とを備えたことを特徴とする撮像装置。

【0073】〔71〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするケプラー式の観察装置。

【0074】〔72〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするガリレオ式の観察装置。

【0075】〔73〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするファインダー。

【0076】〔74〕 観察方向がカメラ、デジタルカメラ、TVカメラ、VTRカメラ等の厚さ方向から20°以内である光学特性可変ミラーを有することを特徴とするカメラ、デジタルカメラ、TVカメラ、VTRカメラ等のファインダー。

【0077】〔75〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするガリレオ式のファインダー又はガリレオ式の望遠鏡。

【0078】〔76〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするケプラー式のファインダー又はケプラー式の望遠鏡。

【0079】〔77〕 光学特性可変ミラーを用いたこ

とを特徴とする一眼レフ撮像装置。

【0080】〔78〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とする望遠鏡。

【0081】〔79〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とする観察装置。

【0082】〔80〕 部分的に視度を変えることができることを特徴とする観察装置。

【0083】〔81〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするビューファインダー。

【0084】〔82〕 光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするヘッドマウンテッドディスプレイ。

【0085】〔83〕 部分的に視度を変えることができる光学特性可変ミラーを用いたことを特徴とするヘッドマウンテッドディスプレイ。

【0086】〔84〕 視線検知機能を有することを特徴とする上記83記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【0087】〔85〕 光学素子の表面にフォトニック結晶を有することを特徴とする光学素子。

【0088】〔86〕 拡張曲面プリズムあるいは光学素子と透過あるいは反射型のフォトニック結晶を有することを特徴とする光学素子。

【0089】〔87〕 透過あるいは反射型のフォトニック結晶を用いたことを特徴とする光学装置。

【0090】〔88〕 透過あるいは反射型のフォトニック結晶を用いたことを特徴とする観察装置。

【0091】〔89〕 透過あるいは反射型のフォトニック結晶を用いたことを特徴とするヘッドマウンテッドディスプレイ。

【0092】〔90〕 拡張曲面プリズムあるいはミラーあるいは光学素子と透過あるいは反射型のフォトニック結晶を用いたことを特徴とするヘッドマウンテッドディスプレイ。

【0093】〔91〕 拡張曲面プリズムあるいはミラーあるいは光学素子と透過あるいは反射型のフォトニック結晶を用いたことを特徴とする光学装置。

【0094】〔92〕 反転した波面で干渉を生じさせ、画像処理と組み合わせて拡張曲面を有する光学素子あるいは光学系を測定することを特徴とする測定法、測定器あるいは測定された物。

【0095】〔93〕 反転した波面で干渉を生じさせ、波面の一部を取り除き、画像処理と組み合わせて拡張曲面を有する光学素子あるいは光学系を測定することを特徴とする測定法、測定器あるいは測定された物。

【0096】〔94〕 被検物の光学面と略逆の形状を有するキャンセラーを用いることを特徴とする被検物の光学測定法、光学測定器あるいは光学測定された物。

【0097】〔95〕 被検物の光学面と略逆の形状を有するキャンセラーを用いる被検物の屈折率、屈折率分布、屈折率変化の少なくとも1つを求めることを特徴と

する測定法、測定器あるいは測定された物。

【0098】〔96〕被検物の光学面と略逆の形状を有するキャンセラーを用い、複数回の測定結果から被検物の屈折率、屈折率分布、屈折率変化、偏心の少なくとも1つを求めることを特徴とする測定法、測定器あるいは測定された物。

【0099】〔97〕上記1から38の何れか1項記載の可変ミラーを備えた光学系において、可変ミラーが光学系の絞りの近傍に配置されていることを特徴とする光学系。

【0100】〔98〕可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正を行うことを特徴とする光学系。

【0101】〔99〕可変ミラーの周辺部を他の光学素子の少なくとも1つに対して略固定し、可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正を行うことを特徴とする光学系。

【0102】〔100〕可変ミラーの中心部を他の光学素子の少なくとも1つに対して略固定し、可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正を行うことを特徴とする光学系。

【0103】〔101〕自由曲面可変ミラーを有し、可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正を行うことを特徴とする光学系。

【0104】〔102〕回転非対称面又は偏心した回転対称面の可変ミラーを有し、可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正を行うことを特徴とする光学系。

【0105】〔103〕回転非対称面又は回転対称面の可変ミラーを有し、可変ミラーを変形させることで、焦点調節、変倍、ズーム、ぶれ補正、光学装置の変化の補正、被写体の変化の補正、観察者の変化の補正を行うことを特徴とする光学系。

【0106】〔104〕1枚以上の可変ミラーを有し、ピント合わせを行うことを特徴とする光学系。

【0107】〔105〕2枚以上の可変ミラーを有し、変倍と、ピント合わせを行うことを特徴とする光学系。

【0108】〔106〕1面以上の拡張曲面と、可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0109】〔107〕自由曲面を有す光学素子と可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0110】〔108〕自由曲面プリズムと可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0111】〔109〕回転非対称面又は偏心した回転対称面を持つ光学素子と可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0112】〔110〕回転非対称面又は偏心した回転対称面を持つプリズム又はミラーと可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0113】〔111〕回転対称な面を持つプリズム又はミラーと可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0114】〔112〕拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して片側に可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0115】〔113〕拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して両側に可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0116】〔114〕拡張曲面を有す光学素子における反射面の数が3以下であり、可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0117】〔115〕対称面が1面のみの光学面と可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0118】〔116〕対称面が2面のみの光学面と可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0119】〔117〕可変ミラーより前方に光束収束あるいは発散作用のある光学素子を備えていないことを特徴とする光学系。

【0120】〔118〕可変ミラーより前方に光束収束あるいは発散作用のある光学素子を備えていることを特徴とする光学系。

【0121】〔119〕1面以上の拡張曲面を有す光学素子と、1面以上の回転対称面と、可変ミラーとを備えていることを特徴とする光学系。

【0122】〔120〕1面以上の拡張曲面を有す光学素子と、光学素子と、可変ミラーとを備えていることを特徴とする光学系。

【0123】〔121〕拡張曲面プリズム又は拡張曲面反射面と、光学素子と、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0124】〔122〕拡張曲面プリズム又は拡張曲面反射面と、レンズと、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0125】〔123〕拡張曲面を備えた光学素子と、凸レンズと、凹レンズと、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0126】〔124〕拡張曲面を備えた光学素子と、凹レンズと、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0127】〔125〕複数の可変ミラーを有する光学系において、少なくとも2つの可変ミラーの法線方向がねじれの関係になっていることを特徴とする光学系。

【0128】〔126〕複数の可変ミラーを有する光

光学系において、少なくとも2つの可変ミラーの法線方向が略同一平面にあることを特徴とする光学系。

【0129】【127】 複数の可変ミラーの中の少なくとも2つの間の光路に光学素子が存在することを特徴とする光学系。

【0130】【128】 複数の可変ミラーの中の少なくとも2つの間の光路に光学素子が存在しないことを特徴とする光学系。

【0131】【129】 2枚の可変ミラーの間に光束収束あるいは発散作用のある光学素子が存在することを特徴とする光学系。

【0132】【130】 2枚の可変ミラーの間に光束収束あるいは発散作用のある光学素子が存在しないことを特徴とする光学系。

【0133】【131】 2枚の可変ミラーの間に平行平板を有することを特徴とする光学系。

【0134】【132】 2枚の可変ミラーの間に平行平板が存在しないことを特徴とする光学系。

【0135】【133】 回転対称な面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、1個以上の光学素子とを有することを特徴とする光学系。

【0136】【134】 回転対称な面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、2個以上の光学素子とを有することを特徴とする光学系。

【0137】【135】 回転対称な面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、1個以上のレンズとを有することを特徴とする光学系。

【0138】【136】 回転対称な面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、2個以上のレンズとを有することを特徴とする光学系。

【0139】【137】 回転対称な非平面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0140】【138】 回転対称な非平面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、1個以上の光学素子とを有することを特徴とする光学系。

【0141】【139】 回転対称な非平面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、2個以上の光学素子とを有することを特徴とする光学系。

【0142】【140】 回転対称な非平面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、1個以上のレンズとを有することを特徴とする光学系。

【0143】【141】 回転対称な非平面を持つプリズム又はミラーと、可変ミラーと、2個以上のレンズとを有することを特徴とする光学系。

【0144】【142】 回転対称な光学面を有す光学素子と、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0145】【143】 回転対称な光学面を有す光学素子と、複数の可変ミラーとを有することを特徴とする

光学系。

【0146】【144】 回転対称な光学面を有す複数の光学素子と、可変ミラーとを有することを特徴とする光学系。

【0147】【145】 可変ミラーと自由曲面プリズムと光学素子とを備えたことを特徴とする光学系。

【0148】【146】 可変ミラーと自由曲面プリズムとレンズとを備えたことを特徴とする光学系。

【0149】【147】 可変ミラーと自由曲面プリズムと回転対称な光学素子とを備えたことを特徴とする光学系。

【0150】【148】 可変ミラーと自由曲面プリズムと回転対称なレンズとを備えたことを特徴とする光学系。

【0151】【149】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して片側にレンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0152】【150】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して片側に凹レンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0153】【151】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して片側に凸レンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0154】【152】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して片側に複数のレンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0155】【153】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して両側にレンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0156】【154】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して可変ミラーと反対側にレンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0157】【155】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して可変ミラーと同じ側にレンズを備えたことを特徴とする光学系。

【0158】【156】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して1つの側に可変ミラーを、その反対側に撮像素子を有することを特徴とする撮像系。

【0159】【157】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して片側に可変ミラーと撮像素子を有することを特徴とする撮像系。

【0160】【158】 撮像素子と可変ミラーの間の光路中に光束収束あるいは発散作用のある光学素子が存在しないことを特徴とする光学系。

【0161】【159】 撮像素子と可変ミラーの間の光路中に光束収束あるいは発散作用のある光学素子が存在することを特徴とする光学系。

【0162】【160】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して撮像素子と反対側に光学素子を備えたことを特徴とする撮像系。

【0163】【161】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して撮像素子と同じ側に光学素子を備えたことを特徴とする撮像系。

【0164】【162】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、撮像素子と拡張曲面を備えた光学素子との間に光学素子を備えたことを特徴とする撮像系。

【0165】【163】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、撮像素子と反対側にレンズを備えたことを特徴とする撮像系。

【0166】【164】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、撮像素子と同じ側にレンズを備えたことを特徴とする撮像系。

【0167】【165】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、撮像素子と拡張曲面を備えた光学素子との間にレンズを備えたことを特徴とする撮像系。

【0168】【166】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、片側に可変ミラーと撮像素子を有し、その反対側に光学素子を有することを特徴とする撮像系。

【0169】【167】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、片側に光学素子と撮像素子を有し、その反対側に可変ミラーを有することを特徴とする撮像系。

【0170】【168】 拡張曲面を備えた光学素子の長手方向に対して、片側に光学素子と可変ミラーを有し、その反対側に撮像素子を有することを特徴とする撮像系。

【0171】【169】 撮像素子の長手方向が光学系の対称面と平行でないことを特徴とする可変ミラーを有する撮像系。

【0172】【170】 撮像素子の長手方向が光学系の対称面と直角でないことを特徴とする可変ミラーを有する撮像系。

【0173】【171】 可変ミラーのミラー面形状を近似する主曲率がある状態で正から負、又は、負から正に変化する可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0174】【172】 可変ミラーのミラー面形状を近似する主曲率がある状態で正から負、又は、負から正に変化する可変ミラーと他の光学素子を有することを特徴とする光学系。

【0175】【173】 可変ミラーのミラー面形状を近似する主曲率がある状態で略0からマイナス（凹の形）に変化する可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0176】【174】 可変ミラーのミラー面形状を近似する主曲率がある状態で略0からマイナス（凹の形）に変化する可変ミラーと他の光学素子を有することを特徴とする光学系。

【0177】【175】 複数の可変ミラーを備え、そ

の中の少なくとも2つについて、ある状態で可変ミラーのミラー面形状の変化が逆向きであることを特徴とする光学系。

【0178】【176】 複数の可変ミラーを備え、その中の少なくとも2つについて、ある状態で可変ミラーのミラー面形状の変化が逆向きであることを特徴とする変倍光学系。

【0179】【177】 複数の可変ミラーを備え、その中の少なくとも2つについて、ある状態で可変ミラーのミラー面形状の変化が同じ向きであることを特徴とする光学系。

【0180】【178】 複数の可変ミラーを備え、その中の少なくとも2つについて、ある状態で可変ミラーのミラー面形状の変化が同じ向きであることを特徴とする変倍光学系。

【0181】【179】 ある動作状態において、式(12)乃至式(13-1)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0182】【180】 ある動作状態において、式(14)乃至式(15-1)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0183】【181】 ある動作状態において、式(16)乃至式(17-2)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0184】【182】 ある動作状態において、式(18)乃至式(19-2)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0185】【183】 式(20)又は(20-1)を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0186】【184】 ある動作状態において、式(21)を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0187】【185】 式(22)乃至式(22-1)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0188】【186】 ある動作状態において、式(16-3)又は式(17-3)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0189】【187】 ある動作状態において、式(23)乃至式(24-1)の何れか1つ以上を満たすことを特徴とする可変ミラーを備えた光学系。

【0190】【188】 ある状態での面形状が2次曲面の一部に近い形状であることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0191】【189】 ある状態での面形状を近似した2次曲面からのズレが式(2)を満たすことを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0192】【190】 ある状態での面形状を近似した2次曲面からのズレが1mm以内であることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0193】【191】 ある状態での面形状を近似した2次曲面からのズレが10mm以内であることを特徴とする光学特性可変ミラー。

【0194】【192】 可変ミラーを絞りの前側、後側、絞り位置近傍の何れかに配置しフォーカス時に可変ミラーを動作させることを特徴とする光学系。

【0195】【193】 可変ミラーを絞りの前側、後側、絞り位置近傍の何れかに配置し変倍時に可変ミラーを動作させることを特徴とする光学系。

【0196】【194】 複数の可変ミラーの内の少なくとも2つの間の光路に絞りがあることを特徴とする光学系。

【0197】【195】 主光線の高さがマージナル光線より高い位置に可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0198】【196】 主光線の高さがマージナル光線より低い位置に可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0199】【197】 可変ミラーの周辺部に絞りを形成したことを特徴とする可変ミラー。

【0200】【198】 移動群の中に少なくとも1つの可変ミラーを有することを特徴とする光学系。

【0201】以上の中で、条件式は数学的に同値であれば、他の表現を用いた条件式でもよい。

【0202】

【発明の実施の形態】以下、本発明の光学装置の実施例について説明する。

【0203】図1は、本発明の1例の光学装置の構成を示す図であり、光学特性可変ミラー9を用いたデジタルカメラのファインダーの例を示している。もちろん、銀塩フィルムカメラにも使える。まず、光学特性可変ミラー9について説明する。

【0204】光学特性可変ミラー9は、アルミコーティングされた薄膜（反射面）9aと複数の電極9bからなる光学特性可変ミラー（以下、単に可変ミラーと言う。）であり、11は各電極9bにそれぞれ接続された複数の可変抵抗器、12は可変抵抗器11と電源スイッチ13を介して薄膜9aと電極9b間に接続された電源、14は複数の可変抵抗器11の抵抗値を制御するための演算装置、15、16及び17はそれぞれ演算装置14に接続された温度センサー、湿度センサー及び距離センサーで、これらは図示のように配設されて1つの光学装置を構成している。

【0205】なお、対物レンズ902、接眼レンズ901、及び、プリズム4、二等辺直角プリズム5、ミラー6の各面は、平面でなくてもよく、球面、回転対称非球面の他、光軸に対して偏心した球面、平面、回転対称非球面、あるいは、対称面を有する非球面、対称面を1つだけ有する非球面、対称面のない非球面、自由曲面、微分不可能な点又は線を有する面等、いかなる形状をして

いてもよく、さらに、反射面でも屈折面でも光に何らかの影響を与え得る面ならばよい。以下、これらの面を総称して拡張曲面という。

【0206】また、薄膜9aは、例えば、P.Rai-choudhury 編、Handbook of Microlithography, Micromachining and Microfabrication, Volume 2: Micromachining and Microfabrication, P495, Fig. 8.58, SPIE PRESS 刊やOptics Communication, 140巻（1997年）P187～190に記載されているメンブレインミラーのように、複数の電極9bとの間に電圧が印加されると、静電気力により薄膜9aが変形してその面形状が変化するようになっており、これにより、観察者の視度に合わせたピント調整ができるだけでなく、さらに、レンズ901、902及び／又はプリズム4、二等辺直角プリズム5、ミラー6の温度や湿度変化による変形や屈折率の変化、あるいは、レンズ枠の伸縮や変形及び光学素子、枠等の部品の組立誤差による結像性能の低下が抑制され、常に適性にピント調整並びにピント調整で生じた収差の補正が行われ得る。

【0207】本実施例によれば、物体からの光は、対物レンズ902及びプリズム4の各入射面と射出面で屈折され、可変ミラー9で反射され、プリズム4を透過して、二等辺直角プリズム5でさらに反射され（図1中、光路中の+印は、紙面の裏側へ向かって光線が進むことを示している。）、ミラー6で反射され、接眼レンズ901を介して眼に入射するようになっている。このように、レンズ901、902、プリズム4、5、及び、可変ミラー9によって、本実施例の光学装置の観察光学系を構成しており、これらの各光学素子の面形状と肉厚を最適化することにより、物体像の収差を最小にすることができるようになっている。

【0208】すなわち、反射面としての薄膜9aの形状は、結像性能が最適になるように演算装置14からの信号により各可変抵抗器11の抵抗値を変化させることにより制御される。すなわち、演算装置14へ、温度センサー15、湿度センサー16及び距離センサー17から周囲温度及び湿度並びに物体までの距離に応じた大きさの信号が入力され、演算装置14は、これらの入力信号に基づき周囲の温度及び湿度条件と物体までの距離による結像性能の低下を補償すべく、薄膜9aの形状が決定されるような電圧を電極9bに印加するように、可変抵抗器11の抵抗値を決定するための信号を出力する。このように、薄膜9aは電極9bに印加される電圧すなわち静電気力で変形させられるため、その形状は状況により非球面を含む様々な形状をとり、印加される電圧の極性を変えれば凸面とすることもできる。なお、距離センサー17はなくてもよく、その場合、固体撮像素子8からの像の信号の高周波成分が略最大になるように、デジタルカメラの撮像レンズ3を動かし、その位置から逆に物体距離を算出し、可変ミラーを変形させて観察者の眼

にピントが合うようにすればよい。

【0209】また、薄膜9aをポリイミド等の合成樹脂で製作すれば、低電圧でも大きな変形が可能であるので好都合である。なお、プリズム4と可変ミラー9を一体的に形成してユニット化することができるが、このユニットは本発明による光学装置の1例である。

【0210】また、図示を省略したが、可変ミラー9の基板上に固体撮像素子8をリソグラフィプロセスにより一体的に形成してもよい。

【0211】また、レンズ901、902、プリズム4、5、ミラー6は、プラスチックモールド等で形成することにより任意の所望形状の曲面を容易に形成することができ、製作も簡単である。なお、本実施例の撮像装置では、レンズ901、902がプリズム4から離れて形成されているが、レンズ901、902を設けることなく収差を除去することができるようにプリズム4、5、ミラー6、可変ミラー9を設計すれば、プリズム

$$1/n > \sin \theta$$

を満たす必要がある。ここで、 θ は、プリズム4内の面4Aに対する光線の入射角である。式(1)は、可変ミラー9に対向して設けられたプリズム4以外の光学素子についても成り立つ。

【0214】また、可変ミラー9の面形状であるが、電圧が印加されていない場合は平面であるが、電圧が印加された場合、図2の太線部で示すような回転双曲面の一部であるとよい。その理由は、以下に述べる通りである。

【0215】図2で、 P_1 、 P_2 は双曲線面の焦点である。対物レンズ902からの光束が焦点 P_2 へ向かって進むとき、この光束を無収差で点 P_1 に結像させるには、可変ミラー9の形状は、点 P_1 、 P_2 を焦点とする回転双曲面であればよいからである(久保田広著「光学」P.136~137(岩波書店 1965年12月20日刊)参照)。

【0216】また、対物レンズ902がない場合、平行光束が可変ミラー9に入射することになるので、可変ミラー9の形状は回転放物面の一部とすればよい。

【0217】また、対物レンズ902が凹レンズの場合

$$\sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 \sum_{k=0}^2 C_{ijk} x^i y^j z^k = 0 \quad \dots (1-1)$$

を満たす曲面を指す。 i 、 j 、 k は0、1、2の何れかである。

【0222】以上は、光軸上の物点からの光束を無収差で結像するための条件であるので、実際には光軸外の物点からの光束の結像及び他の光学素子の収差も考慮する必要がある、最良の可変ミラー9の形状は回転二次曲面からずれてくる。このズレ量は、光学系にもよるが、最小二乗法等で可変ミラー9の形状を近似する二次曲面を

$$\Delta < (1/5) \times D$$

4、5、可変ミラー9は1つの光学ブロックとなり、組立が容易となる。また、レンズ901、902、プリズム4、5、ミラー6の一部あるいは全部をガラスで作製してもよく、このように構成すれば、さらに精度の良い撮像装置が得られる。

【0212】なお、図1の例では、演算装置14、温度センサー15、湿度センサー16、距離センサー17を設け、温湿度変化、物体距離の変化等も可変ミラー9で補償するようにしたが、そうではなくてもよい。つまり、演算装置14、温度センサー15、湿度センサー16、距離センサー17を省き、観察者の視度変化のみを可変ミラー9で補正するようにしてもよい。

【0213】また、可変ミラー9がプリズム4のプリズム面4Aと対向して設けられる場合、光線はプリズム面4Aで全反射せずに透過して可変ミラー9に入射する必要がある。プリズム4の屈折率を n とすると、

$$\dots (1)$$

は、図3に示すように、可変ミラー9の左方 P_2 に凹レンズの像ができるので、可変ミラー9の形状は回転楕円面の太線部で示す一部であればよい。

【0218】もちろん、可変ミラー9で反射後、光束が発散光束となる場合は、回転双曲面とすればよい。

【0219】高精度を要求しない用途、あるいは、他の光学素子で収差のキャンセルが可能な場合、軸外物点の結像性能を考慮する場合等では、上記3つの非球面(回転楕円面、回転放物面、回転双曲面)を球面、トーリック面、非回転対称な二次曲面(例えば、双曲放物面、楕円放物面、アナモルフィック面、等)で近似してもよい。

【0220】球面、回転楕円面、回転放物面、回転双曲面の4つを合わせて回転二次曲面と呼ぶが、何れも回転の軸はX軸である。X軸とは、図2、図3に示すように、焦点が位置する軸のことである。

【0221】なお、回転対称二次曲面と回転非対称な二次曲面を合わせて二次曲面と呼ぶことにする。二次曲面とは、 x 、 y 、 z についての二次式で表される曲面のことである。つまり、方程式で表せば、

$$\dots (1-1)$$

求めたとき、光束透過範囲内で、その二次曲面からのズレ Δ は、最大でも1mm以内になるのがよい。これ以上ズレ量が大きくなると、光軸上の光束の結像性能が低下したりして、問題が増える。

【0223】ただし、光学系に高性能を要求しない用途では、 Δ は10mm以内であればよい。

【0224】あるいは、同じ理由で、

$$\dots (2)$$

を満たすとよい。ここで、Dは可変ミラー9の光束通過部分の面積と等面積の円の直径である。

【0225】なお、本発明について略全般に言えることであるが、可変ミラー9に入射する光線は面に対して斜めに入射するのがよい。つまり、斜入射の状態である。なぜなら、面に垂直に光線が入射すると、反射光は面に垂直に進むことになり、既に通過した光学系を逆進するだけだからである。

【0226】次に、可変ミラー9の構成について述べる。

【0227】図4は、可変ミラー9の別の実施例を示しており、この実施例では、薄膜9aと電極9bとの間に電圧素子9cが介装されていて、これらが支持台23上に設けられている。そして、圧電素子9cに加わる電圧を各電極9b毎に変えることにより、圧電素子9cに部分的に異なる伸縮を生じさせて、薄膜9aの形状を変えることができるようになっている。電極9bの形は、図5に示すように、同心分割であってもよいし、図6に示すように、矩形分割であってもよく、その他、適宜の形のものを選択することができる。図中、24は演算装置14に接続された振れ（ブレ）センサーであって、例えばデジタルカメラの振れを検知し、振れによる像の乱れを補償するように薄膜9aを変形させるべく、演算装置14及び可変抵抗器11を介して電極9bに印加される電圧を変化させる。このとき、温度センサー15、湿度センサー16及び距離センサー17からの信号も同時に考慮され、ピント合わせ、温湿度補償等が行われる。この場合、薄膜9aには圧電素子9cの変形に伴う応力が加わるので、薄膜9aの厚さはある程度厚めに作られて相応の強度を持たせるようにするのがよい。

【0228】図7は、可変ミラー9のさらに他の実施例を示している。この実施例は、薄膜9aと電極9bの間に介置される圧電素子が逆方向の圧電特性を持つ材料で作られた2枚の圧電素子9c及び9c'で構成されている点で、図4に示された実施例とは異なる。すなわち、圧電素子9cと9c'が強誘電性結晶で作られているとすれば、結晶軸の向きが互いに逆になるように配置される。この場合、圧電素子9cと9c'は電圧が印加されると逆方向に伸縮するので、薄膜9aを変形させる力が図4に示した実施例の場合よりも強くなり、結果的にミラー表面の形を大きく変えることができるという利点がある。

【0229】圧電素子9c、9c'に用いる材料としては、例えばチタン酸バリウム、ロッシェル塩、水晶、電氣石、リン酸二水素カリウム（KDP）、リン酸二水素アンモニウム（ADP）、ニオブ酸リチウム等の圧電物質、同物質の多結晶体、同物質の結晶、 $PbZrO_3$ と $PbTiO_3$ の固溶体の圧電セラミックス、ニフ化ポリビニール（PVDF）等の有機圧電物質、上記以外の強誘電体等があり、特に有機圧電物質はヤング率が小さ

く、低電圧でも大きな変形が可能であるので、好ましい。なお、これらの圧電素子を利用する場合、厚さを不均一にすれば、上記実施例において薄膜9aの形状を適切に変形させることも可能である。

【0230】図8は、可変ミラー9のさらに他の実施例を示している。この変形例では、圧電素子9cが薄膜9aと電極9dとにより挟持され、薄膜9aと電極9d間に演算装置14により制御される駆動回路25を介して電圧が印加されるようになっており、さらにこれとは別に、支持台23上に設けられた電極9bにも演算装置14により制御される駆動回路25を介して電圧が印加されるように構成されている。したがって、この実施例では、薄膜9aは電極9dとの間に印加される電圧と電極9bに印加される電圧による静電気力とにより二重に変形され得、上記実施例に示した何れのものよりもより多くの変形パターンが可能であり、かつ、応答性も速いという利点がある。

【0231】図9は、可変ミラー9のさらに他の実施例を示している。この実施例は、電磁気力を利用して反射面の形状を変化させ得るようにしたもので、支持台23の内部底面上には永久磁石26が、頂面上には窒化シリコン又はポリイミド等からなる基板9eの周縁部が載置固定されており、基板9eの表面にはアルミニウム等の金属コートで作られた薄膜9aが付設されていて、可変ミラー9を構成している。基板9eの下面には複数のコイル27が配設されており、これらのコイル27はそれぞれ駆動回路28を介して演算装置14に接続されている。したがって、各センサー15、16、17、24からの信号によって演算装置14において求められる光学系の変化に対応した演算装置14からの出力信号により、各駆動回路28から各コイル27にそれぞれ適当な電流が供給されると、永久磁石26との間に働く電磁気力で各コイル27は反発又は吸着され、基板9e及び薄膜9aを変形させる。

【0232】この場合、各コイル27にはそれぞれ異なる量の電流を流すようにすることもできる。また、コイル27は1個でもよいし、永久磁石26を基板9eに付設しコイル27を支持台23の内部底面側に設けるようにしてもよい。また、コイル27はリソグラフィ等の手法で作るとよく、さらに、コイル27には強磁性体よりなる鉄心を入れるようにしてもよい。

【0233】図10は、可変ミラー9のさらに他の実施例を示している。この実施例では、基板9eの下面に薄膜コイル28'が設けられ、これに対向して支持体23の内部底面上にコイル27が設けられている。そして、薄膜コイル28'には必要に応じて適切な電流を供給するための可変抵抗器11、電源12及び電源スイッチ13が接続されている。また、各コイル27にはそれぞれ可変抵抗器11が接続されており、さらに、各コイル27と可変抵抗器11に電流を供給するための電源12と

コイル 27 に流す電流の方向を変えるための切換え兼電源開閉用のスイッチ 29 が設けられている。したがって、この実施例によれば、可変抵抗器 11 の抵抗値をそれぞれ変えることにより、各コイル 27 と薄膜コイル 28' との間に働く電磁気力を変化させ、基板 9 e と薄膜 9 a を変形させて、可動ミラーとして動作させることができる。また、スイッチ 29 を反転しコイル 27 に流れる電流の方向を変えることにより、薄膜 9 a を凹面にも凸面にも変えることができる。

【0234】この場合、薄膜コイル 28' の巻密度を、図 11 に示すように、場所によって変化させることにより、基板 9 e 及び薄膜 9 a に所望の変形を与えるようにすることもできる。また、図 12 に示すように、コイル 27 は 1 個でもよいし、また、これらのコイル 27 には強磁性よりなる鉄心を挿入してよい。また、支持台 23 により形成される空間内へ磁性流体を充填すれば、電磁気力はさらに強くなる。

【0235】図 13 は、可変ミラー 9 のさらに他の実施例を示している。この実施例では、基板 9 e は鉄等の強磁性体で作られており、反射膜としての薄膜 9 a はアルミニウム等からなっている。この場合、薄膜コイルを設けなくてもすむから、例えば図 10 に示した実施例に比べると、構造が簡単で、製造コストを低減することができる。また、電源スイッチ 13 を切換え兼電源開閉用スイッチ 29 (図 10 参照) に置換すれば、コイル 27 に流れる電流の方向を変えることができ、基板 9 e 及び薄

$$P < 5 \lambda$$

を満たすようになっている。ここで、 λ は光の波長で、可視光であれば $\lambda = 380 \text{ nm} \sim 700 \text{ nm}$ 程度である。ツイストネマチック液晶 31 d は、上記式 (3) を満たすとき、入射光の偏光方向に関係なく屈折率が略等方的になるので、偏光板を設けなくてもボケのない可変

$$P < 15 \lambda$$

であっても、実用上使用できる場合もある。ツイストネマチック液晶の代わりに上記式 (3)、(4) を満たす螺旋構造を持つ液晶、例えばコレステリック液晶やスメクチック液晶等を用いてもよい。また、ツイストネマチック液晶の代わりに、高分子分散液晶、高分子安定化液晶を用いてもよい。液晶の代わりに電気によって屈折率の変わる物質を用いてもよい。

【0238】液晶として用いることができる液晶物質の例としては、コレステリック液晶、スメクチック液晶、スメクチック C* 液晶、強誘電性液晶、反強誘電性液晶、トラン系液晶、ジフルオロスチルベン系低粘性化合物、バナナ型液晶、ディスコチック液晶、並びに、それらを用いた高分子安定化液晶、高分子分散液晶があり、特に高分子安定化液晶は液晶分子の配向を制御しやすいのでよい。

【0239】また、強誘電性液晶、反強誘電性液晶は応答速度が上げられるので、速いブレも補正できてよい。

膜 9 a の形状を自由に変えることができる。図 14 はこの実施例におけるコイル 27 の配置を示し、図 15 はコイル 27 の他の配置例を示しているが、これらの配置は、図 9 及び図 10 に示した実施例にも適用することができる。なお、図 16 は、図 9 に示した実施例において、コイル 27 の配置を図 15 に示したようにした場合に適する永久磁石 26 の配置を示している。すなわち、図 16 に示すように、永久磁石 26 を放射状に配置すれば、図 9 に示した実施例に比べて、微妙な変形を基板 9 e 及び薄膜 9 a に与えることができる。また、このように電磁気力を用いて基板 9 e 及び薄膜 9 a を変形させる場合 (図 9、図 10 及び図 13 の実施例) は、静電気力を用いた場合よりも低電圧で駆動できるという利点がある。

【0236】図 17 は、本発明による光学装置の第 2 実施例を示す図で、電子ビューファインダーの例である。この実施例は、LCD (液晶ディスプレイ) 45 からの光をプリズム 30 を介して眼へ導くのに、液晶可変焦点レンズをミラーの前面に配置してなる液晶可変ミラー 31 を用いた点で、前記の実施例とは異なる。液晶可変ミラー 31 は、可変ミラーの 1 例である。液晶可変ミラー 31 は、透明電極 31 a と、曲面形状の基板 31 b の表面に塗布されたミラーを兼ねた分割電極 31 c との間に、ツイストネマチック液晶 31 d を充填することにより構成されている。ツイストネマチック液晶 31 d の螺旋ピッチ P は、

$$\dots (3)$$

焦点ミラーが得られる。

【0237】なお、この光学装置を低コストのデジタルカメラの電子ビューファインダーとして用いる場合には、ツイストネマチック液晶 31 d の螺旋ピッチ P は、

$$\dots (4)$$

【0240】上記液晶可変ミラー 31 において、電極 31 a、31 c 間に電圧を印加すると、図 18 に示されるように、液晶 31 d の方向が変わり、入射光に対する屈折率が低下するので、液晶可変ミラー 31 の反射作用、例えば焦点距離が変化する。したがって、視度調整と共に、各可変抵抗器 11 の抵抗値を温度変化や撮影時のブレに対応して適宜調整するようにすれば、プリズム 30 の温度変化に対する補償や観察時の振れ防止を行うことが可能となる。

【0241】図 19 は、本発明に用いる 1 例の静電駆動ミラー 9 T を示す図であり、電極 9 b 1、9 b 2、9 b 3、9 b 4、9 b 5 が同一平面にないのが特徴である。電極 9 b 1、9 b 2、9 b 3、9 b 4、9 b 5 は異なる基板 23 A、23 B、23 C 上に形成されており、異なる平面上に配置されている。このようにすると、静電駆動ミラー 9 T に電圧が加わり、薄膜 9 a が凹んだ場合でも、中央部の電極 9 b 3 との距離がそれほど縮まらない

ので、薄膜9aと電極9b3の間の電場が強くなりすぎず、薄膜9aの形状の制御がしやすいメリットがある。

【0242】いま、静電駆動ミラー9Tに加わる正負電

$$\Delta B = (1/2) \times H$$

であれば、薄膜9aが変形したときの電場の変化が最も少ない。なお、Hは形状変化の最大量を示すものであ

$$(1/1000) \times H \leq \Delta B \leq 10H$$

の範囲で電極9b1、9b2、9b3、9b4、9b5の配置と共に、適宜Δを選べばよい。

$$(1/10) \times H \leq \Delta B \leq 2H$$

を満たすようにΔを選べば、大体的場合において制御しやすくなる。

【0245】式(6)、(7)でΔBが上限を越えると、薄膜9aの制御がし難くなり、ΔBが下限を下回ると、電極9b1、9b2、9b3、9b4、9b5の高さに差を付ける効果が減少してしまう。

【0246】図20は、電極9b1、9b2、9b3、9b4、9b5を曲面上に形成した静電駆動ミラー9Uで、図19と効果は同様である。式(5)～(7)もそのまま適用できる。また、複数の電極9b1、9b2、9b3、9b4、9b5の位置を同一平面からずらすことで、薄膜9aの変形の仕方をコントロールしてもよい。

【0247】図21はその1例で、薄膜9aの中間部の変形量を大きく、中心部の変形量を少なくした例である。この場合、ΔBは電極9b1、9b2、9b3、9b4、9b5の平均の高さからの最大の電極のズレ量と定義する。式(5)～(7)は同様に当てはまる。

【0248】このように複数の電極の位置を平面からずらして可変ミラーの形状を制御しやすくすることは、本発明の他の可変ミラー、つまり、電磁ミラー、液晶可変ミラー、圧電素子を利用したミラー等にも適用でき、式(5)～(7)は同様に当てはまる。

【0249】なお、本発明のいくつかの実施例では、拡張曲面プリズム4、5、30等を用いるが、それらの代わりに、図22に示したような拡張曲面を有する反射鏡60を用いてもよい。反射鏡60の反射面の形状は拡張曲面になっている。この場合には、拡張曲面プリズムに比べて中空のため重量が軽くなるという利点がある。図22は、電子撮像装置(デジタルカメラ又はテレビカメラ)の例である。可変ミラー9でピント調整、ブレ防止等が可能である。また、図23に示すように、本発明の可変ミラー9を2つ以上用いて光学系を形成してもよい。この場合には、例えば振れ防止とピント調整とを別々の可変ミラー9で行うことができ、光学設計の自由度が増す。また、1つの光学系で本発明の可変ミラー9を2つ以上用いて、光学系のズームとピント調整と振れ防止等を行うようにすることもできる。図23はデジタルカメラの例であり、符号20は、拡張曲面プリズムであり、33はレンズである。

極間の電位差は一定値に固定されているとする。電極9b1、9b2、9b3、9b4、9b5の最大の高さをΔBとすれば、

$$\dots (5)$$

る。

【0243】実用的には、

$$\dots (6)$$

【0244】また、

$$\dots (7)$$

【0250】本発明の光学装置に共通して言えることであるが、可変ミラーは光学系の絞りの近傍に置くことよい。絞り近傍では光線高が低いので、可変ミラーを小型にすることができ、応答速度、コスト、重量の点で有利である。

【0251】図24は、本発明の1例で、カメラ又はデジタルカメラ又は動画記録装置、例えばカムコーダカメラ用のズームファインダー61の例であり、-x方向から見た図である。図25は+y方向から見たズームファインダー61である。

【0252】プリズム62、63と2つの可変ミラー91、92とで、ポロI型プリズムのような折曲光路を形成している。ケプラー式光学系を用いた観察装置の1例である。プリズム62、63は平面で構成された通常の三角プリズムでもよいし、何れかの面を拡張曲面としてもよい。

【0253】可変ミラー91、92の面の形を変化させることで、ズームと視度調整の両方を実現できる。レンズを動かすことなしに、ズーム、視度調整ができるメリットがある。また、ズーム時にレンズを移動させる音が発生しないメリットがあり、これは特に音声も収録するカムコーダのファインダーの場合にメリットがある。

【0254】カムコーダの撮像系に可変ミラーを用いてズームを行う場合にも、音の出ないメリットがある。

【0255】カムコーダ以外の動画記録装置、電子動画記録装置においても同様のメリットがある。

【0256】図26は、本発明の1例で、デジタルカメラ用の一眼レフ光学系である。自由曲面プリズムの長手方向の両側に可変ミラーを配置し、さらに長手方向の両側に光学素子を配置した例である。また、長手方向の片側に撮像素子があり、その反対側に光学素子と可変ミラーが配置されている。可変ミラー93、94でズームとオートフォーカスを行い、固体撮像素子8上に像を結ぶ。可変ミラー93、94にズームの代わりに可変焦点調節機能を持たせ、ピントは別途合わせてもよい。

【0257】可変ミラー93、95でケプラー式ファインダーのズームと視度調整を行う。ファインダー光路

は、レンズ64→可変ミラー93→プリズム20→プリズム65（ここで光路はプリズム20の裏側へ曲がる。）→可変ミラー95→接眼レンズ901の順である。

【0258】符号66は半透過コーティングであり、撮像系光路は、レンズ64→可変ミラー93→プリズム20→可変ミラー94→レンズ67→水晶ローパスフィルター68→赤外カットフィルター69→固体撮像素子8の順である。符号70は透明電極で、薄膜9aとの間に電圧を加えることによって薄膜9aを凸面にすることもできるし、あるいはすでに説明した可変ミラー9のように凹面にすることもできる。

【0259】このように、可変ミラー93は形状変化の大きい可変ミラーとして動作可能である。プリズム20の各面は拡張曲面となっている。プリズム65の各面は平面でもよいし、拡張曲面でもよい。

【0260】図26の例は、ズーミングを行っても音が発生しないメリットもある。図26の光学系は、カムコーダ、テレビカメラにも使える。

【0261】図27は、本発明の別の1例で、一部に光透過部分を有する可変ミラー96を用いたグレゴリー式反射望遠鏡の例である。可変ミラー96の反射膜96aには、一部反射コーティングを行わない部分72が設けてある。電極96bの中央にも透明部73が設けてある。この部分には電極を設けなくてもよいし、あるいは透明電極を設けてもよい。可変ミラー9と96とで、ズーミング、フォーカシングの両方が可能な望遠鏡を形成している。焦点面74に撮像素子を置けば、撮像できるし、接眼レンズ901を焦点面74の後方に置けば、眼視観察もできる。

【0262】図28は、静電駆動の可変ミラー9J、9Kを用いたズーム式ガリレオ式ファインダーの1例であり、ガリレオ式光学系を用いた観察装置の1例である。カメラ、デジタルカメラ、オペラグラス等に用いられる。凹レンズ76→可変ミラー9J→可変ミラー9K→

$$0.0001 \leq |HJ/HK| < 10000 \quad \dots (8)$$

を満たすとよい。なぜなら、この範囲を越えると一方の可変ミラーの変形量が大きくなりすぎ、ミラーの製作、

$$0.001 \leq |HJ/HK| < 1000 \quad \dots (8-1)$$

を満たすと、製作が容易になりよい。また、

$$0.1 \leq |HJ/HK| < 10 \quad \dots (9)$$

を満たすようにすればさらによい。この範囲なら、同一の可変ミラーを2個用いることも可能になってくるからである。

【0268】3つ以上の可変ミラーがある場合は、それらの中で最大の変形量をHK、最小の変形量をHJとすれば、式(8)、(9)は同様に成り立つ。

【0269】可変ミラー9J、9Kの形状の制御は、演算装置14によって行われるが、焦点距離、物体距離で決まる可変ミラー9J、9Kの形状の情報をメモリ14

凸レンズ77と物体からの光が進み、眼に入る。可変ミラー9K、9Jの電源12Bは液晶表示装置45Bの照明装置78と共用で、共通電源が使えるので、コンパクトになり便利である。照明装置78の代わりにストロボ等他の電気装置の電源と可変ミラー9J、9Kの電源を共用してもよい。図28の光学系は、眼から見ると、観察者の視度、例えばマイナス2ディオプターになるように可変ミラー9J、9Kは演算装置14によって制御される。

【0263】そして、可変ミラー9Jの凹反射面としての作用が弱く、可変ミラー9Kの凹反射面としての作用が強いとき、広角の、可変ミラー9Jの凹反射面としての作用が強く、可変ミラー9Kの凹反射面としての作用が弱いとき、望遠の、ガリレオ式ファインダーとして働く。

【0264】図28のファインダー光学系は、図29に示すように、観察方向（図28のマイナスz方向）がカメラ又はデジタルカメラ79の厚さ方向（図29のz'方向）と20°以内で平行になるように設置すれば、カメラ又はデジタルカメラ79は小型にでき便利である。

【0265】図30は、光学特性可変ミラー9J、9Kを用いた撮像装置、デジタルカメラ、VTRカメラ用の撮像光学系の例である。2つの拡張曲面プリズム20J、20Kと、可変ミラー9J、9Kとで5回、つまり、奇数回反射面を有する撮像系を構成している。これまでの例と同様、拡張曲面プリズム20J、20Kでズーミング（可変焦点のみ）とフォーカシングを実現している。奇数回反射のため、裏像（鏡像）が固体撮像素子8には形成されるが、電子回路あるいは情報処理装置によって出来た反転処理部14Bを経ることでその画像は反転され、正像となってLCD45あるいはプリンタ45Jに出力される。

【0266】ここで、可変ミラー9J、9Kの最大の変形量をHJ、HKとすると、

制御困難になってくるからである。

【0267】したがって、

$$\dots (9)$$

Mにルックアップテーブル等で蓄えておき、それに従って形状を制御するとよい。

【0270】図31は、本発明の1例で、静電駆動の可変ミラー9Jを用いたデジタルカメラあるいは側視の電子内視鏡用の撮像装置である。図中、符号81、82は何れも回転対称な曲面を持つ光学素子である。つまり、例えば、通常の球面レンズ、非球面レンズ等である。物体距離の変動に伴って薄膜9aの形状を変化させることで、ピン調整、ピン調整に伴う収差変動の補正等を

行うことができる。従来の光学系に比べ、レンズを機械的に駆動しなくてよいメリットがある。また、反射面が1面のため、固体撮像素子8上の像は裏像になるが、電氣的にあるいは画像処理で反転させればよい。

【0271】図32は、本発明の1例で、静電駆動の可変ミラー9Tを用いてピント合わせを行う斜視の電子内視鏡の例である。プリズム83の透過面83Aに対向して可変ミラー9Tが設けられている。プリズム83の面83Bは全反射するので、アルミコートは不要である。この例では、機械的レンズ駆動が不要で、かつ、偶数回反射なので裏像にならないメリットがある。

【0272】図33は、本発明の別の1例で、2つの静電駆動の可変ミラー9J、9Kを用いたズームのデジタルカメラあるいは電子内視鏡用の撮像装置である。VTRカメラ、TVカメラにも用いることができる。図中、符号81、82、84は何れも回転対称な面を持つレンズである。可変ミラー9J、9Kの反射面の形状を変えることで、撮像する画角の変化とピント合わせを同時にすることができる。なお、図33では、可変ミラー9Jの面の法線と可変ミラー9Kの面の法線とは略平行であるが、2つの法線の方向がねじれの関係になるように可変ミラー9J、9Kを配置してもよい。つまり、このとき、図33の光学系は面对称でなくなる。そのとき、固体撮像素子8の撮像面は紙面に直交しなくなる。図31、図32の例ではその光学系は紙面について対称になっている。

【0273】なお、本発明に共通して言えることであるが、可変ミラーとして、流体、例えば空気、流体等を用いて反射面を変形させる図34に示したような可変ミラー85を用いてもよい。ピストン86を動かすことで流体87の量が変わり、反射面88の形状を変化させることができる。これは凹凸両面に変形できるメリットがある。

【0274】また、本発明に共通して言えることであるが、可変ミラーを用いてテレビカメラ、デジタルカメラ等の固体撮像素子を用いた撮像装置でオートフォーカスを行う場合、距離センサー等で得た距離情報に基づき、可変ミラーに加わる電流あるいは電圧を変化させてオートフォーカスを行うとよい。

【0275】また、あるいは、可変ミラーに加わる電流あるいは電圧を変化させつつ、物体を撮像して得られた画像のコントラストを検出し、コントラストが最大になった状態をもってピントが合ったと考え、オートフォーカスを行ってもよい。この場合、特に、画像の高周波成分のコントラストに着目してコントラストのピークを検出するとよい。

【0276】また、本発明に共通して言えることであるが、静電駆動の可変ミラーの形状を制御する場合、正負2つの電極間の静電容量を調べてそれから正負の電極間の距離情報を得て、それから可変ミラーの形状を求めて

設計値の形状に近づくように可変ミラーを制御するとよい。2つの電極間の静電容量を調べるには、例えば2つの電極間に電圧を加えたとき以後の電流の時間変化を調べるとよい。

【0277】また、本発明に共通して言えることであるが、可変ミラーを駆動する電源は液晶ディスプレイ等の表示装置の電源あるいはストロボの電源と共用してもよい。共用すればコスト、軽量化等で有利である。

【0278】図35は、ヘッドマウンテッドディスプレイ(HMDと略記)142に可変ミラー9を用いた例である。電極9bに加わる電圧を変化させることで、視度調整に用いることができるが、そればかりでなく、LCD45に表示される画像の部分に応じた遠近感を与えることができるものである。図36に示すような花と山の画像が表示用電子回路192によってLCD45上に表示されているとする。花は近距離、山は遠距離にある。したがって、花の視度はマイナス、山の視度は略0となるように、駆動回路193で電極9bに加わる電圧を制御して薄膜9aを変形させれば、画像の部分に応じた遠近感を得ることができる。

【0279】図37は、本発明の1例で、拡張曲面プリズム101の表面にフォトニック結晶102で作ったホログラム反射鏡103を形成したものである。HMD142の1例である。ホログラム反射鏡103は、通常の反射の法則に従わない光線の反射が可能のため、HMDのデザインの自由度を増やすこと、収差の補正等に有効に使えて便利である。

【0280】フォトニック結晶102は、図38に示すように、異なる波長と同程度がそれ以下の大きさ単位(図の白丸、黒丸、斜線丸)を規則的に並べたもので、リソグラフィ、モールド等の手法で作ることができる。フォトニック結晶102は、写真感光材料、フォトリソグラフィ等に比べて大量に正確にホログラムを作ることができる点等で優れている。

【0281】図39は、拡張曲面プリズム101の代わりに、拡張曲面ミラー104を用いたもので、図37の例に比べて軽量にできるメリットがある。拡張曲面プリズム101の上のフォトニック結晶102は透過型のフォトニック結晶であり、反射型のフォトニック結晶と略同様の特徴を有する。

【0282】以上の他、フォトニック結晶を有する光学素子をデジタルカメラ、内視鏡等の撮像光学系、ビューファインダーのような表示光学系、光信号処理又は伝送を行う光学系顕微鏡のような観察光学系等に用いてもよいのは言うまでもない。

【0283】フォトニック結晶は、レンズ、フィルタ等の光学素子の表面に形成してもよい。レンズ表面に形成すれば、ホログラム型光学素子(HOE)等と同様の機能を併せ持つ光学素子が得られる。フォトニック結晶の屈折率が光学素子の屈折率より小さくなるようにすれ

ば、反射防止効果も得られる。

【0284】また、図35、図37、図39の例に共通に言えることであるが、左右の眼に入る画像を異ならせて立体的に見せるHMDにおいて視線検知装置107を設け、両眼視野で生ずる物体距離にHMDの視度が合うようにするとよい。このようにすれば、両眼の観察像が融像し、自然な立体像が見られる。

【0285】図40は、例えば本発明の実施例に用いられている非球面レンズ、拡張曲面を有する光学素子の測定法の改良に関するものである。図40は、マッハツェンダー型干渉計200で非球面レンズの形状、屈折率分布、偏心等を測定する例で、基準レンズ201に対する被検レンズ202の形状、屈折率の差等がスクリーン203上に干渉縞として記録される。このとき、非球面レンズの形状によっては、図41に示すように、レンズ201、202の周辺部の光束Fがスクリーン203上で反転して結像する場合がある。反転するというのは、光束Fの上光線F1がスクリーン203上では光軸(Z軸)に近くなり、光束Fの下光線F2がスクリーン203上では光軸から離れてしまうことである。このようになると、被検レンズ202の面形状等は従来測定できないと考えられてきた。

【0286】そこで、本発明では、コンピュータ205によってテレビカメラ204で取り込んだ光束Fの信号を画像処理によって反転させ、かつ、歪曲収差等も補正するようにする。そのような干渉縞に対して通常処理を行えば、被検レンズ202の面形状、屈折率分布、屈折率、偏心等の基準レンズ201に対する差を求めることができる。なお、図40中、符号206は干渉計の光源のレーザー、207はモニターTVを示す。

【0287】図42に○と×で光束F内の光線のスクリーン

$$W(x, y) \approx 2 \{ (t_r - t) n_c + t n \} \quad \dots (10)$$

となる。ここで、マッチングオイル805の厚さは薄いので無視した。

$$n \approx (W/2 - t_r n_c) / t + n_c$$

を得る。

【0292】したがって、式(11)より被検レンズ801の $n(x, y)$ を求めることができる。

【0293】同様にして、キャンセラー802、被検レンズ801、キャンセラー803の組み合わせを、図46に示すように、 β だけz軸に対して傾け、測定を行い、式(11)と同じ考え方で波面の解析を行い、光線mに沿った方向についての被検レンズの屈折率の平均値 $n_\beta(\beta)$ を求めることができる。

【0294】様々な β について $n_\beta(\beta)$ を求めることで、X線CTの手法、例えばラドン変換を行い、被検レンズ801の屈折率分布 $n(x, y, z)$ を求めることができる。

【0295】この他、透過波面の解析から被検レンズあるいは光学素子の偏心を求めることもできる。

ーン203上での位置を示したが、上記の画像処理は、これをコンピュータ205で画像処理を行って、図43で示すように、反転させるのである。

【0288】なお、内側の光束G、H等がスクリーン203上で光束Fと重なって困るときには、図41のように、遮蔽208を光軸に置けばよい。

【0289】図44は、本発明に用いられることもある非球面レンズ、あるいは、自由曲面レンズ、自由曲面プリズム、あるいは、拡張曲面レンズ、あるいは、拡張曲面プリズム、拡張曲面光学素子801の屈折率、屈折率の変化、屈折率の分布を測定する方法の説明図である。干渉測定時、被検レンズ801の表面の屈折の影響を軽減するため、片面が被検レンズ801の非球面804の略逆の形状をしたキャンセラー802と、片面が被検レンズ801の球面806の略逆の形状をしたキャンセラー803で被検レンズ801を両側から挟んである。図中、符号805は被検レンズ801の屈折率に略等しい屈折率を持つマッチングオイルで、必ずしも設けなくてもよい。なお、キャンセラー802、803の外側の面810は平面である。

【0290】このキャンセラー802、被検レンズ801、キャンセラー803の組み合わせを、図45に示すように、フィゾー型干渉計807の光路中に置き、ミラー808で反射してきた透過波面 $W(x, y)$ をフィゾー型干渉計807で測定する。図中、符号809は参照面である。すると、z方向の被検レンズ801の厚さを $t(x, y)$ 、被検レンズ801の屈折率のz方向平均値を $n(x, y)$ 、キャンセラー802、803の屈折率を n_c 、キャンセラー802、被検レンズ801、キャンセラー803の総厚を t_r とすると、

【0291】式(1)を n について解いて、

$$\dots (11)$$

【0296】次に、実施例A～Mとして、可変ミラーを用いた光学系の具体的数値例について説明する。

【0297】(実施例A) この実施例は、図47に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、4つの自由曲面の屈折面111～114からなる自由曲面プリズム110を挟んで自由曲面プリズム110の長手方向の両側で屈折面112、113に面して2枚の自由曲面可変ミラー115、116を設け、小型化を達成し、ズームとピント合わせの両方を行う電子撮像系用の光学系である。なお、図中、117はフィルター等の平行平板、118は撮像面(結像面)である。絞りは第1の可変ミラー115の面あるいはその近傍に配置されている。可変ミラー115の反射面の周辺に黒いコーティングを施すことで絞りを構成することができる。

【0298】2つの可変ミラー115、116はズーム

時に、一方 115 は平面から凹に、もう一方 116 は凹から平面へと逆向きに变化する。この 2 枚の可変ミラー 115、116 は凸から凹、凹から凸と変化してももちろんよい。逆向きに变化しているからである。

【0299】撮像面 118 は、自由曲面プリズム 110 を挟んで一方の可変ミラー 116 とは自由曲面プリズム 110 の長手方向に対して反対側に、もう一方の可変ミラー 115 とは自由曲面プリズムの長手方向に対して同じ側に位置している。このように配置すると、全体の光学系を小型にできてよい。

【0300】なお、第 1 の可変ミラー 115 はフォーカス時にも変形する。この可変ミラー 115 は絞り面にあるので、変形しても画角が変化し難いメリットがある。第 2 の可変ミラー 116 はズーム時に変形する。主光線の高さが光束半径より高いので、フォーカスをあまり変化させることなくズーム（あるいは変倍）を行うことが

$$0 \leq |P_I / P_{TOT}| < 1000$$

$$0 \leq |P_V / P_{TOT}| < 1000$$

ここで、 P_I は可変ミラーの光軸近傍の主曲率半径の中、入射面に近い方の主曲率半径の逆数、 P_V は可変ミラーの光軸近傍の主曲率半径の中、入射面に遠い方の主曲率半径の逆数（後記の式 (a) で自由曲面が表される場合であって、Y-Z 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面の場合には、例えば $P_I = 2C_6$ 、 $P_V = 2C_4$ で計算できる。）、 $P_{TOT} = 1/f_{TOT}$ であり、 f_{TOT} は全系の焦点距離である。

$$0 \leq |P_I / P_{TOT}| < 100$$

$$0 \leq |P_V / P_{TOT}| < 100$$

を満たすとよい。

【0306】本発明の光学系に用いられる可変ミラーは、この実施例の場合も含めて、動作時の少なくとも 1 つの状態において、可変ミラーの少なくとも 1 つは、下

$$0.00001 < |\Delta P_I / P_{TOT}| < 1000 \quad \dots (14)$$

$$0.00001 < |\Delta P_V / P_{TOT}| < 1000 \quad \dots (15)$$

ここで、 ΔP_I 、 ΔP_V はそれぞれ P_I 、 P_V の変化量である。

【0308】両式の $|\Delta P_I / P_{TOT}|$ 、 $|\Delta P_V / P_{TOT}|$ の値が下限の 0.00001 を下回ると、可変ミ

$$0.00001 < |\Delta P_I / P_{TOT}| < 100 \quad \dots (14-1)$$

$$0.00001 < |\Delta P_V / P_{TOT}| < 100 \quad \dots (15-1)$$

を満たすとよい。

【0310】本発明の光学系に用いられる可変ミラーは、この実施例の場合も含めて、次の 2 式の少なくとも

$$0.00001 < |P_I| < 100 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (16)$$

$$0.00001 < |P_V| < 100 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (17)$$

$|P_I|$ 又は $|P_V|$ がそれぞれの式の上限の 100 を越えると、ミラーは小さくなりすぎて製作が困難になり、下限の 0.00001 を下回ると、可変ミラーの効

$$0.001 < |P_I| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (16-1)$$

$$0.001 < |P_V| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (17-1)$$

できる。ズーム時には、第 1 の可変ミラー 115 も変形してよい（後記の数値データ参照）。

【0301】この実施例の数値データは後記するが、F ナンバーは、広角端で 4.6、望遠端で 5.8、焦点距離 f_{TOT} は、広角端で 5.8 mm、望遠端で 9.4 mm、撮像面サイズは、3.86 × 2.9 mm、画角は、広角端で、対角画角が 45°、短辺方向画角が 28°、長辺方向画角が 36.8°、望遠端で、対角画角が 28°、短辺方向画角が 18°、長辺方向画角が 23° である。

【0302】この実施例の場合も含めて、本発明の可変ミラーは、動作時の少なくとも 1 つの状態において、可変ミラーの少なくとも 1 つは、下式 (12) 又は (13) を満たすことが望ましい。

$$\dots (12)$$

$$\dots (13)$$

【0304】なぜなら、 $|P_I / P_{TOT}|$ あるいは $|P_V / P_{TOT}|$ が式 (12) 又は (13) の下限の 0 に近づく程面形状は平面あるいはシリンジカル面に近づくので、面形状の制御がしやすくなり、一方、上限の 1000 を越えると、収差の補正及び可変ミラーの製作が困難になってくるからである。

【0305】より高精度の用途には、式 (12)、式 (13) の代わりに、

$$\dots (12-1)$$

$$\dots (13-1)$$

記の 2 つの式 (14)、(15) の何れかを満たすことが望ましい。

【0307】

ラーとしての効果が小さくなり、一方、上限の 1000 を越えると、収差の補正、ミラーの製作が困難になる。

【0309】さらに高精度を望む場合等には、式 (14)、式 (15) の代わりに、

何れかをある動作状態で満たしていることが望ましい。

【0311】

果がなくなる。

【0312】高精度を望む用途等では、式 (16)、式 (17) の代わりに、

を満たすといふ。

【0313】また、式(16-1)、(17-1)に代

$$0.005 < |P_I| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (16-2)$$

$$0.005 < |P_V| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (17-2)$$

を満たせばさらによい。

【0314】本発明の光学系に用いられる可変ミラーの少なくとも1つは、この実施例の場合も含めて、ある動

$$0.0001 < |\Delta P_I| < 100 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (18)$$

$$0.0001 < |\Delta P_V| < 100 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (19)$$

$|\Delta P_I|$ 又は $|\Delta P_V|$ の値が各式の上限の100を越えると、ミラーの変形量が大きくなりすぎ破壊する場合がある。一方、下限の0.0001を下回ると、可変

$$0.0005 < |\Delta P_I| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (18-1)$$

$$0.0005 < |\Delta P_V| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (19-1)$$

を満たすといふ。

【0317】さらに、式(18-1)、(19-1)の

$$0.002 < |\Delta P_I| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (18-2)$$

$$0.002 < |\Delta P_V| < 10 \quad (\text{mm}^{-1}) \quad \dots (19-2)$$

を満たせばさらによい。

【0318】本発明の光学系に用いられる可変ミラーの少なくとも1つは、この実施例の場合も含めて、ある動

$$0 \leq |P_I / (P_V \cos \phi)| < 100 \quad \dots (20)$$

ここで、 ϕ はミラー面への軸上光線の入射角である。

【0320】 $|P_I / (P_V \cos \phi)|$ が上限の100を越えると、非点収差の補正が困難になる。なお、下限の0に近づくのは、面の形がシリンドリカル面に近づ

$$0 \leq |P_I / (P_V \cos \phi)| < 25 \quad \dots (20-1)$$

を満たすのがよい。

【0322】なお、式(20)、(20-1)で $P_V = 0$ かつ $P_I = 0$ 、つまり、平面の場合は、 $P_I / (P_V \cos \phi)$ を $1 / \cos \phi$ で置き換えるものとする。

【0323】また、式(20)、(20-1)で $P_I \neq$

$$|P_V| \geq |P_I| \quad \dots (21)$$

を満たすといふ。

【0325】以上の式(12)～(15-1)は本発明の実施例A～D、G～Mの何れにも当てはまるものである。また、以上の式(16)～(21)は本発明の実施例A～Mにも当てはまるものである。

【0326】(実施例B) この実施例は、図48に断面を示すように、3つの自由曲面の屈折面111～113からなる自由曲面プリズム110の長手方向を挟んで1枚の可変ミラー115と撮像素子の撮像面118を配置し、フォーカスを行う電子撮像系の例である。フィルムカメラ等にも利用できるのは言うまでもない。

【0327】この実施例は、自由曲面プリズム110の物体側に凹レンズ119、自由曲面プリズム110の像側に凸レンズ120を配置することで、66°の広角を実現している。絞りは、自由曲面プリズム110の第2面112あるいはその近傍に配置している。なお、自由曲面プリズム110の第1面111は、凹レンズ119

わって、

作状態で次の2式の少なくとも一方を満たしていることが望ましい。

【0315】

$$\dots (18)$$

$$\dots (19)$$

ミラーとしての効果が減る。

【0316】より高精度を望む用途では、式(18)、式(19)の代わりに、

$$\dots (18-1)$$

$$\dots (19-1)$$

代わりに、

$$\dots (18-2)$$

$$\dots (19-2)$$

作状態で次の式を満たしていることが望ましい。

【0319】

くときである。

【0321】より精密な用途では、(20)の代わりに、

$$\dots (20-1)$$

0かつ $P_V = 0$ の場合は、 $P_V \cos \phi$ を1で置き換えるものとする。

【0324】同様に非点収差を補正する目的で、可変ミラーの何れか1つ以上がある動作状態で、

$$\dots (21)$$

からの光を屈折してプリズム内に入射させる作用と、第2面112で反射した光を全反射する作用と、第3面113から再度プリズム内に入射した光を屈折してプリズム外に射出する作用を兼用している。

【0328】この実施例では、絞りより後方に可変ミラー115を配置することでフォーカスを行っている。

【0329】この例では、可変ミラー115の光束収束力が強く、収差の少ない光学系が得られる。また、自由曲面プリズム110の長手方向に対して撮像素子と同じ側に凹レンズ119と凸レンズ120を配置することで、小型化、薄型化を達成している。

【0330】この実施例の数値データは後記するが、Fナンバーは2.2、焦点距離 f_{TOT} は3.8mm、撮像面サイズは3.64×2.85mm、画角は、対角画角66°、短辺方向画角40°、長辺方向画角52°である。

【0331】(実施例C) この実施例は、図49に断面

を示すように、4つの自由曲面の屈折面111~114からなる自由曲面プリズム110の長手方向に対して両側に凹レンズ119と凸レンズ120を配置し、かつ、自由曲面プリズム110の長手方向に対して撮像素子の撮像面118と可変ミラー115を片側に配置した撮像系の例である。可変ミラー115でフォーカスを行う。

【0332】なお、自由曲面プリズム110の第1面111は、凹レンズ119からの光を屈折してプリズム内に入射させる作用と、第2面112から再度プリズム内に入射した光を全反射する作用を兼用しており、第3面113は第1面111で全反射した光を全反射する作用と、第4面114で反射した光を屈折してプリズム外に射出する作用を兼用している。

【0333】この例は、絞りを可変ミラー115面に置き、かつ、像面118へ入射する主光線が像面に略垂直なため、ピント合わせをしても画角が変わらないメリットがある。

【0334】また、可変ミラー115、撮像面118を自由曲面プリズム110の長手方向の同じ例に配置し、かつ、凹レンズ119をその反対側に配置して、デジタルカメラ等のカバーガラスを兼ねるように配置することで、薄型化を達成している。

【0335】この実施例の数値データは後記するが、Fナンバーは2.6、焦点距離 f_{TOT} は4.8mm、撮像面サイズは3.5×2.67mm、画角は、対角画角50°、短辺方向画角32°、長辺方向画角40°である。

$$0.1 < |f_N / f_{TOT}|$$

を満たすことが望ましい。 $|f_N / f_{TOT}|$ の値が下限の0.1を下回ると、収差の補正が困難になる。

$$0.5 < |f_N / f_{TOT}|$$

とするとよい。

【0342】(実施例E) この実施例は、図51に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、2つの可変ミラー115、116を用いたズームのガリレオ式ファインダーの例である。凹パワーの対物レンズ121と凸パワーの接眼レンズ122の間に第1の可変ミラー115と第2の可変ミラー116がZ字状の折り返し光路を形成している。ズームのときに、可変ミラー115、116の一方はトーリック面からなる凹面から平面、もう一方は平面からトーリック面からなる凹面と逆方向に変形する。これによってレンズ系の中でパワーを移動させてズームを実現している。このとき、可変ミラー115、116以外の光学素子121、122はその位置を変えないのが特徴で、機械的構造が簡単になるメリットがある。

$$0.0001 < |P_I| / |P_{\cdot}| < 100$$

又は、

$$0.0001 < |P_V| / |P_{\cdot}| < 100$$

が成り立つことが望ましい。

【0346】 $|P_I| / |P_{\cdot}|$ 又は $|P_V| / |P_{\cdot}|$

【0336】(実施例D) この実施例は、図50に断面を示すように、3つの自由曲面の屈折面111~113からなる自由曲面プリズム110の長手方向の物体側に1個の凹レンズ119を置き、かつ、そのレンズ119と同じ側に撮像素子の撮像面118を、反対側に可変ミラー115を配置したことで、小型化を実現した撮像光学系の例である。画角が63°と広角なこと、レンズの構成枚数が少ない点で優れている。

【0337】平行平面板117は赤外カットフィルター、ローパスフィルター、撮像素子のカバー、ガラス等をまとめて描いたものである。

【0338】なお、自由曲面プリズム110の第1面111は、凹レンズ119からの光を屈折してプリズム内に入射させる作用と、第2面112で反射された光を全反射する作用を兼用している。

【0339】この実施例の数値データは後記するが、Fナンバーは2.8、焦点距離 f_{TOT} は4.2mm、撮像面サイズは4.1×3.2mm、画角は、対角画角63°、短辺方向画角40.4°、長辺方向画角52.2°である。

【0340】実施例A~D、G~Mに共通に言えることであるが、自由曲面光学素子以外のN番目の光学素子1個(接合レンズの場合は分離しないで考える。また、可変ミラーを含めてもよい。)の焦点距離を f_N とすると、全系焦点距離 f_{TOT} に対する比の絶対値は、少なくとも1つの光学素子に対して、

$$\dots (22)$$

【0341】高性能を望む場合は、

$$\dots (22-1)$$

る。

【0343】また、ズームのみならず、2つの可変ミラー115、116の曲率を変化させることで異なる距離の物体に対してフォーカスすることもできる。

【0344】この実施例の数値データは後記するが、広角端で、物体側半画角14.5°、角倍率0.38、瞳径 ϕ 5.25mm、望遠端で、物体側半画角8.7°、角倍率0.6、瞳径 ϕ 5.25mmである。

【0345】 $|f_{\cdot}|$ を、このような光学系中の焦点距離の絶対値が最も短い光学素子(接合レンズの場合は接合した状態での焦点距離に対して定義する。)の焦点距離の絶対値とし、 $|P_{\cdot}| = 1 / |f_{\cdot}|$ とすると、光学系を構成する何れかの可変ミラー115、116に対して、ある可変ミラーの動作状態で、

$$\dots (23)$$

$$\dots (24)$$

|がこれらの式の下限の0.0001を下回ると、可変ミラーの変形量が少なすぎて、ズームあるいはフォーカ

ス等の効果が減り、上限の100を上回ると、可変ミラーで発生する収差の補正が困難になるからである。

【0347】さらに、可変ミラーを用いた効果の大きい

$$0.001 < |P_1| / |P_2| < 10 \quad \dots (23-1)$$

又は、

$$0.001 < |P_v| / |P_2| < 10 \quad \dots (24-1)$$

の一方を少なくとも満たすとよい。

【0348】（実施例F）この実施例は、図52に断面を示すように、1つの可変焦点ミラー115を用いたガリレオ式ファインダーの例で、凹パワーの対物レンズ121と凸パワーの接眼レンズ122の間に可変ミラー115と固定ミラー123がZ字状の折り返し光路を形成しており、物体が遠点から近点に近づくにつれて絞り（瞳）の前側に置かれた可変ミラー115は平面からトリク面からなる凹面へと変化する。

【0349】式(23)～(24-1)は、実施例A～Mに対しても成り立つ。

【0350】この実施例の数値データは後記するが、物体側半面角20°、角倍率0.34、瞳径φ6mmである。

【0351】（実施例G）この実施例は、図53に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、絞り124を挟んで、2枚接合レンズからなる負パワーの前群125と、2枚接合レンズと1枚のレンズとからなる正パワーの後群126とからなる回転対称レンズ系の物体側に第1の可変ミラー115を、結像面118とそのレンズ系の間に第2の可変ミラー106を配置して、2つの可変ミラー115、116の非球面形状を連携して変えることでズーミングする例である。

【0352】この実施例においては、自由曲面を用いずにレンズには専ら球面を、可変ミラー115、116には回転対称非球面を用いてデジタルカメラ等の可変焦点対物光学系を構成している。

【0353】この実施例の数値データは後記するが、像高は2mmで、Fナンバーは3.1～3.5、焦点距離は6.76～8.73mmである。

【0354】（実施例H）この実施例は、図54に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、絞り124を挟んで、2枚の凹レンズからなる負パワーの前群125と、2枚接合レンズと1枚の正レンズとからなる正パワーの後群126とからなる回転対称レンズ系の前群125のレンズ間に第1の可変ミラー115を、結像面118と後群126の間に第2の可変ミラー106を配置して、2つの可変ミラー115、116の非球面形状を連携して変えることでズーミングする例である。

【0355】この実施例においては、自由曲面を用いずにレンズには専ら球面を、可変ミラー115、116には回転対称非球面を用いてデジタルカメラ等の可変焦点対物光学系を構成している。

【0356】この実施例の数値データは後記するが、像

収差の良い光学系を得るには、式(23)、(24)に代わりに、

高は2mmで、Fナンバーは3.6～4.48、焦点距離は4.51～6.49mmである。

【0357】（実施例I）この実施例は、図55に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、絞り124を挟んで、第2面がアナモルフィック面からなるレンズ125aと2枚接合レンズとからなる負パワーの前群125と、2枚接合レンズと1枚の正レンズとからなる正パワーの後群126とからなるレンズ系の前群125のレンズ間に第1の可変ミラー115を、結像面118と後群126の間に第2の可変ミラー106を配置して、2つの可変ミラー115、116の非球面形状を連携して変えることでズーミングする例である。

【0358】この実施例においては、自由曲面を用いずにレンズにはアナモルフィック面あるいは球面を、可変ミラー115、116には回転対称非球面を用いてデジタルカメラ等の可変焦点対物光学系を構成している。

【0359】この実施例の数値データは後記するが、像高は2mmで、Fナンバーは4.38～5.43、焦点距離は5.89～8.86mmである。

【0360】（実施例J）この実施例は、図56に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、絞り124を挟んで、負レンズと正レンズからなる負パワーの前群125と絞り124の間に第1の可変ミラー115を配置し、絞り124と結像面118の間の後群126を凸レンズ、2枚接合レンズ、凸レンズから構成し、その凸レンズと2枚接合レンズの間に第2の可変ミラー116を、2枚接合レンズと最後の凸レンズの間に第3の可変ミラー127を配置し、合計で光路をそれぞれ90°ずつ偏向する3枚の可変ミラー115、116、127を配置してこれら3枚の可変ミラーの自由曲面形状を連携して独立に変えることでズーミングする例である。

【0361】この実施例においては、可変ミラー以外のレンズには球面と回転対称非球面を用いており、デジタルカメラ等の可変焦点対物光学系を構成している。

【0362】なお、後群126と結像面118の間の平行平板群128はフィルター、カバーガラス等である。

【0363】この実施例の数値データは後記するが、撮像面のアスペクト比は3:4で、最大像高は2.8mmで、Fナンバーは2.56～8.34、焦点距離は4.69～9.33mmで、画角は、X方向画角25.50°～13.50°、Y方向画角19.70°～10.20°である。

【0364】（実施例K）この実施例は、図57に広角

端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、絞り124を挟んで、負レンズと正レンズからなる負パワーの前群125と絞り124の間に第1的可変ミラー115を配置し、絞り124と結像面118の間の後群126を凸レンズ、2枚接合レンズ、凸レンズから構成し、その凸レンズと2枚接合レンズの間に第2的可変ミラー116を、2枚接合レンズと最後の凸レンズの間に第3的可変ミラー127を配置し、光路を偏向する3枚の可変ミラー115、116、127を配置してこれら3枚の可変ミラーの自由曲面形状を連携して独立に変えることでズームングする例である。この例では、可変ミラー115、127では光路を90°偏向してはおらず、実施例Jとはこの点で異なる。

【0365】この実施例においては、可変ミラー以外のレンズには球面と回転対称非球面を用いており、デジタルカメラ等の可変焦点対物光学系を構成している。

【0366】なお、後群126と結像面118の間の平行平板群128はフィルター、カバーガラス等である。

【0367】この実施例の数値データは後記するが、撮像面のアスペクト比は3:4で、最大像高は2.8mmで、Fナンバーは3.67~6.69、焦点距離は4.69~9.33mmで、画角は、X方向画角25.50°~13.50°、Y方向画角19.70°~10.20°である。

【0368】(実施例L)この実施例は、図58に広角端(a)、望遠端(b)の断面を示すように、回転対称な主鏡115と副鏡116からなるカセグレン望遠鏡あるいはリッチェ・クレチアン望遠鏡の像側に2枚接合レンズ129を加えてなるカタデオプトリック光学系の2枚の鏡に可変ミラーを用いてズーム系としたものであり、絞り124から結像面118の間の距離は固定され、可変ミラー115、116には回転対称非球面を用いており、その変形と連携して、可変ミラー116、2枚接合レンズ129が軸方向に移動することによって可変焦点対物光学系を構成している。

【0369】この実施例の数値データは後記するが、撮像面のアスペクト比は3:4で、最大像高は2.8mmで、Fナンバーは3.08~4.62、焦点距離は40.0~60.0mmで、画角は、X方向画角3.20°~2.14°、Y方向画角2.40°~1.60°である。

【0370】(実施例M)この実施例は、図59に断面を示すように、絞り124を挟んで、正レンズと2枚接合レンズからなる前群125と2枚接合レンズと2枚の正レンズとからなる後群126とからなるいわゆるダブルガウスタイプのレンズ系の後群126の2枚の正レン

ズ間に可変ミラー115を配置して、フォーカスを行う電子撮像系等の撮像光学系の例である。

【0371】この実施例は、可変ミラー115を平面から自由曲面に変形することで近距離物体に合焦している。

【0372】この実施例の数値データは後記するが、撮像面のアスペクト比は3:4で、最大像高は2.8mmで、Fナンバーは3.5、焦点距離は6.4mmで、X方向画角21.58°、Y方向画角16.52°である。

【0373】以上の実施例A~Mを示す図47~図59は何れもY-Z面の断面図である。この例で、レンズ系全体を1つの移動する群と考えて、上方(結像面118から離れる方向)に移動させつつ可変ミラー115の形状を変えて、変倍を行ってもよい。

【0374】なお、本発明全体にわたって言えることであるが、一般にズーム光学系は変倍光学系の1つである。ただし、ズーム光学系という言葉を変倍光学系と同義に用いることもある。

【0375】実施例の単位は何れもmmである。

【0376】また、上記実施例A~Mまでの実施例は、何れも可変ミラーはズーム又はフォーカシングに伴い連続的に形状を変えるが、何箇所かで不連続的にズーム、フォーカシングを行ってもよい。

【0377】例えば、実施例A、C、E、Fでは、可変ミラーの周辺部が他の光学素子に対して固定されていて、中央部が変形するように設計してある。したがって、可変ミラーの面頂域は可変ミラーの変形と共に変化している。

【0378】また、例えば、実施例B、Dでは、可変ミラーの中央付近を固定し、周辺部が動くようにしてある。この場合、レンズデータでは可変ミラー座標原点の値は変化していない。

【0379】また、実施例G~では、少なくとも2つの可変ミラーの法線同志がねじれの関係になるように可変ミラー及び他の光学素子を配置してもよい(収差は変わらないので)。

【0380】この外、可変ミラーの中間部あるいはそれ以外のところを固定しても、あるいは、可変ミラーに固定点がなくとも、ミラーが変形すれば、これらの実施例と略同様の設計でフォーカス、変倍等を実現することができる。これは、可変ミラーの位置の誤差は面形状の誤差程結像性能に影響しないからである。

【0381】また、可変ミラーを用いた光学系では、ある動作状態で次式の何れかを満たすとよい。

【0382】

$$0 \leq |P_1| \leq 0.01 \quad (\text{mm}^{-1})$$

$$\dots (16-3)$$

$$0 \leq |P_v| \leq 0.01 \quad (\text{mm}^{-1})$$

$$\dots (17-3)$$

この2式はその動作状態で一方の曲率が平面に近いこと

を示しており、平面は形状制御が容易で、電力を消費し

難い等の点で優れている。上記2式は実施例A～Mに対して成り立つ。

【0383】以下に、上記実施例A～Mの構成パラメータを示すが、本発明で使用する自由曲面とは以下の式で

定義されるものである。この定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0384】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+k) c^2 r^2}] + \sum_{i=1}^{\infty} C_i X^i Y^i \quad \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0385】球面項中、

c：頂点の曲率

k：コーニック定数（円錐定数）

$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$

である。

【0386】自由曲面項は、

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{\infty} C_i X^i Y^i \\ = & C_1 X + C_2 Y \\ & + C_3 X^2 + C_4 XY + C_5 Y^2 \\ & + C_6 X^3 + C_7 X^2 Y + C_8 XY^2 + C_9 Y^3 \\ & + C_{10} X^4 + C_{11} X^3 Y + C_{12} X^2 Y^2 + C_{13} XY^3 + C_{14} Y^4 \\ & + C_{15} X^5 + C_{16} X^4 Y + C_{17} X^3 Y^2 + C_{18} X^2 Y^3 + C_{19} XY^4 + C_{20} Y^5 \\ & + C_{21} X^6 + C_{22} X^5 Y + C_{23} X^4 Y^2 + C_{24} X^3 Y^3 + C_{25} X^2 Y^4 + C_{26} XY^5 + C_{27} Y^6 \\ & + C_{28} X^7 + C_{29} X^6 Y + C_{30} X^5 Y^2 + C_{31} X^4 Y^3 + C_{32} X^3 Y^4 + C_{33} X^2 Y^5 + C_{34} XY^6 + C_{35} Y^7 \\ & \dots \end{aligned}$$

ただし、 C_j （jは2以上の整数）は係数である。

【0387】上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面共に対称面を持つことはないが、Xの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。また、Yの奇数次項を全て0にすることによって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。

【0388】また、上記の回転非対称な曲面形状の面で

$$\begin{aligned} x &= R \cos(A) \\ y &= R \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ &\quad + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\ &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\ &\quad + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\ &\quad + D_{16} R^4 \sin(4A) \\ &+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\ &\quad + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\ &\quad + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\ &\quad + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\ &+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \end{aligned}$$

ある自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式により定義できる。この面の形状は以下の式(b)により定義する。その定義式(b)のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZの軸の高さの極座標で定義され、AはX-Y面内のZ軸からの距離、RはZ軸回りの方位角で、Z軸から測った回転角で表せられる。

【0389】

$$\begin{aligned}
& +D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\
& +D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\
& +D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\
& +D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \cdots \cdots \\
& \cdots \cdots (b)
\end{aligned}$$

ただし、 D_m (m は2以上の整数)は係数である。な

お、 X 軸方向に対称な光学系として設計するには、

$D_4, D_5, D_6, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{20}, D_{21}, D_{22}$ …を利用する。

【0390】上記定義式は、回転非対称な曲面形状の面の例示のために示したものであり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

数学的に同値ならば他の定義で曲面形状を表してもよ

$$\begin{aligned}
Z = & C_2 \\
& + C_3 Y + C_4 |X| \\
& + C_5 Y^2 + C_6 Y |X| + C_7 X^2 \\
& + C_8 Y^3 + C_9 Y^2 |X| + C_{10} Y X^2 + C_{11} |X^3| \\
& + C_{12} Y^4 + C_{13} Y^3 |X| + C_{14} Y^2 X^2 + C_{15} Y |X^3| + C_{16} X^4 \\
& + C_{17} Y^5 + C_{18} Y^4 |X| + C_{19} Y^3 X^2 + C_{20} Y^2 |X^3| \\
& \quad + C_{21} Y X^4 + C_{22} |X^5| \\
& + C_{23} Y^6 + C_{24} Y^5 |X| + C_{25} Y^4 X^2 + C_{26} Y^3 |X^3| \\
& \quad + C_{27} Y^2 X^4 + C_{28} Y |X^5| + C_{29} X^6 \\
& + C_{30} Y^7 + C_{31} Y^6 |X| + C_{32} Y^5 X^2 + C_{33} Y^4 |X^3| \\
& \quad + C_{34} Y^3 X^4 + C_{35} Y^2 |X^5| + C_{36} Y X^6 + C_{37} |X^7| \\
& \cdots \cdots (c)
\end{aligned}$$

また、非球面は、以下の定義式で与えられる回転対称非球面である。

$$\begin{aligned}
Z = & (Y^2/R) / [1 + \{1 - (1+K) Y^2/R^2\}^{1/2}] \\
& + A Y^4 + B Y^6 + C Y^8 + D Y^{10} + \cdots \cdots \\
& \cdots \cdots (d)
\end{aligned}$$

ただし、 Z を光の進行方向を正とした光軸(軸上主光線)とし、 Y を光軸と垂直な方向にとる。ここで、 R は近軸曲率半径、 K は円錐定数、 A, B, C, D, \cdots はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。この定義式の Z 軸が回転対称非球面の軸となる。

【0395】また、アナモルフィック面の形状は以下の式により定義する。面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がアナモルフィック面の軸となる。

$$\begin{aligned}
Z = & (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \{1 - (1+K_x) C_x^2 \cdot X^2 \\
& \quad - (1+K_y) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] \\
& + R_1 \{ (1-P_1) X^2 + (1+P_1) Y^2 \}^2 \\
& + R_2 \{ (1-P_2) X^2 + (1+P_2) Y^2 \}^3 \\
& + R_3 \{ (1-P_3) X^2 + (1+P_3) Y^2 \}^4 \\
& + R_4 \{ (1-P_4) X^2 + (1+P_4) Y^2 \}^5 \\
& \cdots \cdots (e)
\end{aligned}$$

ただし、 Z は面形状の原点に対する接平面からのズレ量、 C_x は X 軸方向曲率、 C_y は Y 軸方向曲率、 K_x は X 軸方向円錐係数、 K_y は Y 軸方向円錐係数、 R_n は非球面項回転対称成分、 P_n は非球面項回転非対称成分である。なお、 X 軸方向曲率半径 R_x 、 Y 軸方向曲率半径

い。

【0391】なお、自由曲面の他の定義式の例として、次の定義式(c)があげられる。

$$\text{【0392】 } Z = \sum \sum C_{mn} X^m Y^n$$

例として、 $k=7$ (7次項)を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

$$\text{【0393】}$$

$$\text{【0394】}$$

$$\begin{aligned}
\text{【0396】 } Z = & (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \\
& \{1 - (1+K_x) C_x^2 \cdot X^2 - (1+K_y) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] + \sum R_n \{ (1-P_n) X^2 + (1+P_n) Y^2 \}^{(n+1)}
\end{aligned}$$

ここで、例として $n=4$ (4次項)を考えると、展開したとき、以下の式(a)で表すことができる。

$$\text{【0397】}$$

R_y と曲率 C_x, C_y との間には、 $R_x = 1/C_x, R_y = 1/C_y$ の関係にある。

【0398】また、トーリック面には X トーリック面と Y トーリック面があり、それぞれ以下の式により定義す

る。面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がトーリック面の軸となる。Xトーリック面は、

$$F(X) = Cx \cdot X^2 / [1 + \{1 - (1+K) Cx^2 \cdot X^2\}^{1/2}] + AX^4 + BX^6 + CX^8 + DX^{10} \dots$$

$$Z = F(X) + (1/2) Cy \{Y^2 + Z^2 - F(X)^2\} \dots (f)$$

次いで、Y方向の曲率中心を通してX軸の周りで回転する。その結果、その面はX-Z面内で非球面になり、Y-Z面内で円になる。Yトーリック面は、

$$F(Y) = Cy \cdot Y^2 / [1 + \{1 - (1+K) Cy^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] + AY^4 + BY^6 + CY^8 + DY^{10} \dots$$

$$Z = F(Y) + (1/2) Cx \{X^2 + Z^2 - F(Y)^2\} \dots (g)$$

次いで、X方向の曲率中心を通してY軸の周りで回転する。その結果、その面はY-Z面内で非球面になり、X-Z面内で円になる。

【0399】ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのズレ量、CxはX軸方向曲率、CyはY軸方向曲率、Kは円錐係数、A、B、C、Dは非球面係数である。なお、X軸方向曲率半径Rx、Y軸方向曲率半径Ryと曲率Cx、Cyとの間には、 $Rx = 1/Cx$ 、 $Ry = 1/Cy$ の関係にある。

【0400】なお、偏心面については、光学系の基準面の中心からその面の面頂位置の偏心量(X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z)と、その面の中心軸(自由曲面については、前記(a)式のZ軸、非球面については、前記(d)式のZ軸、アナモルフィック面については、前記(e)式のZ軸、トーリック面については、前記(f)式又は(g)式のZ軸)のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角(それぞれ α 、 β 、 γ (°))とが与えられている。その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。なお、面の中心軸の α 、 β 、 γ の回転のさせ方は、

(実施例A)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アップ数
物体面	∞	1000.00			
1	∞ (HRP, RP)		偏心(1)		
2	FFS①		偏心(2)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(3)		
4	FFS③(絞り) (DM1)		偏心(4)		
5	FFS②		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(5)		
7	FFS⑤(DM2)		偏心(6)		
8	FFS④		偏心(5)	1.5254	56.2
9	FFS⑥		偏心(7)		
10	∞		偏心(8)	1.5163	64.1
11	∞		偏心(9)		
像面	∞		偏心(10)		
FFS①					
C ₄ -6.7765×10 ⁻² C ₆ -6.2321×10 ⁻² C ₈ -2.2954×10 ⁻²					

面の中心軸とそのXYZ直交座標系を、まずX軸の回りで反時計回りに α 回転させ、次に、その回転した面の中心軸を新たな座標系のY軸の回りで反時計回りに β 回転させると共に1度回転した座標系もY軸の回りで反時計回りに β 回転させ、次いで、その2度回転した面の中心軸を新たな座標系の新たな座標系のZ軸の回りで時計回りに γ 回転させるものである。

【0401】なお、反射面の傾きだけを示す場合も、偏心量としてその面の中心軸の傾き角が与えられている。

【0402】なお、データの記載されていない自由曲面、非球面等に関する項は0である。屈折率については、d線(波長587.56nm)に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0403】以下に、上記実施例A～Mの構成パラメータを示す。なお、以下の表中の“FFS”は自由曲面、“ASS”は非球面、“RP”は基準面、“HRP”は仮想面、“RE”は反射面、“DM”は可変ミラー、“XTR”はXトーリック面、“ANM”はアナモルフィック面をそれぞれ示す。また、面形状、偏心に関して、“WE”、“TE”はそれぞれ広角端、望遠端を示し、“OD”は物体距離を示す。

【0404】

$$\begin{array}{lll} C_{10} & -1.9491 \times 10^{-2} & C_{11} & -3.1101 \times 10^{-3} & C_{13} & -6.5957 \times 10^{-3} \\ C_{15} & -2.9764 \times 10^{-3} & & & & \end{array}$$

FFS②

$$\begin{array}{lll} C_4 & -7.7519 \times 10^{-2} & C_6 & -6.0590 \times 10^{-2} & C_8 & -5.9666 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -2.6208 \times 10^{-3} & C_{11} & -7.4511 \times 10^{-4} & C_{13} & -4.5909 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -4.2617 \times 10^{-5} & & & & \end{array}$$

FFS③

WE : ∞ (平面)

TE :

$$\begin{array}{lll} C_4 & -1.7971 \times 10^{-2} & C_6 & -1.8050 \times 10^{-2} & C_8 & 3.0008 \times 10^{-5} \\ C_{10} & -1.3132 \times 10^{-3} & C_{11} & -3.4160 \times 10^{-4} & C_{13} & -7.3683 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -3.1388 \times 10^{-4} & & & & \end{array}$$

FFS④

$$\begin{array}{lll} C_4 & -6.8810 \times 10^{-2} & C_6 & -5.6218 \times 10^{-2} & C_8 & 1.0316 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -4.5924 \times 10^{-4} & C_{11} & -3.0583 \times 10^{-3} & C_{13} & 5.7663 \times 10^{-4} \\ C_{15} & 8.8386 \times 10^{-4} & & & & \end{array}$$

FFS⑤

WE :

$$\begin{array}{lll} C_4 & 5.1461 \times 10^{-2} & C_6 & 3.7863 \times 10^{-2} & C_8 & -3.0012 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -6.4390 \times 10^{-4} & C_{11} & 1.8790 \times 10^{-3} & C_{13} & 2.5101 \times 10^{-3} \\ C_{15} & 6.3665 \times 10^{-4} & & & & \end{array}$$

TE : ∞ (平面)

FFS⑥

$$\begin{array}{lll} C_4 & -4.1970 \times 10^{-2} & C_6 & -7.0058 \times 10^{-2} & C_8 & -1.5784 \times 10^{-2} \\ C_{10} & -1.6308 \times 10^{-2} & C_{11} & -2.8968 \times 10^{-3} & C_{13} & 4.4919 \times 10^{-3} \\ C_{15} & -1.1667 \times 10^{-3} & & & & \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 0.00 \\ \alpha & 0.00 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.03 & Z & 0.33 \\ \alpha & 1.73 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.10 & Z & 2.94 \\ \alpha & 19.43 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

WE :

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.26 & Z & 4.08 \\ \alpha & 16.93 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

TE :

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.26 & Z & 4.12 \\ \alpha & 16.93 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -3.83 & Z & 1.02 \\ \alpha & 8.48 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

WE :

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -4.80 & Z & -0.22 \\ \alpha & 8.00 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

TE :

X	0.00	Y	-4.80	Z	0.20
α	8.00	β	0.00	γ	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	-4.33	Z	2.61
α	-34.51	β	0.00	γ	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	-6.16	Z	3.17
α	-13.93	β	0.00	γ	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	-6.40	Z	4.14
α	-13.93	β	0.00	γ	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	-6.46	Z	4.39
α	-13.93	β	0.00	γ	0.00

【0405】

(実施例B)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (RP)		偏心(1)	1.5168	64.1
2	10.00		偏心(2)		
3	FFS①		偏心(3)	1.5254	56.2
4	FFS② (絞り) (RE)		偏心(4)	1.5254	56.2
5	FFS① (RE)		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS③		偏心(5)		
7	FFS④ (DM)		偏心(6)		
8	FFS③		偏心(5)	1.5254	56.2
9	FFS①		偏心(3)		
10	-17.00		偏心(7)	1.8080	40.6
11	∞		偏心(8)		
像面	∞		偏心(9)		
FFS①					
C_4	-4.7020×10^{-2}	C_6	-1.8559×10^{-2}	C_8	-2.1989×10^{-3}
C_{10}	-1.3752×10^{-3}	C_{11}	6.3011×10^{-4}	C_{13}	-2.3538×10^{-4}
C_{15}	-1.2872×10^{-4}				
FFS②					
C_4	-3.5411×10^{-2}	C_6	-2.2443×10^{-2}	C_8	-4.5396×10^{-4}
C_{10}	-6.6517×10^{-4}	C_{11}	4.4891×10^{-4}	C_{13}	2.2297×10^{-4}
C_{15}	-9.9027×10^{-5}				
FFS③					
C_4	-6.3691×10^{-2}	C_6	-5.2302×10^{-2}	C_8	2.0046×10^{-3}
C_{10}	-1.4613×10^{-3}	C_{11}	-5.9788×10^{-4}	C_{13}	2.5449×10^{-4}
C_{15}	1.5212×10^{-4}				
FFS④					
OD : ∞					
C_4	-3.2044×10^{-2}	C_6	-3.4056×10^{-2}	C_8	-1.1269×10^{-3}
C_{10}	9.3234×10^{-4}	C_{11}	-8.2793×10^{-5}	C_{13}	-9.5598×10^{-4}
C_{15}	-4.0391×10^{-4}				
OD : 100					
C_4	-3.9028×10^{-2}	C_6	-3.7848×10^{-2}	C_8	-1.0212×10^{-3}
C_{10}	1.0709×10^{-3}	C_{11}	2.4511×10^{-4}	C_{13}	-5.0708×10^{-4}

$C_{15} -3.2267 \times 10^{-4}$

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-3.37	Z	3.23
α	12.78	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	0.37	Z	4.59
α	39.33	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-5.99	Z	5.91
α	-13.67	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

OD: ∞

X	0.00	Y	-6.78	Z	6.28
α	-24.23	β	0.00	γ	0.00

OD: 100

X	0.00	Y	-6.82	Z	6.28
α	-24.23	β	0.00	γ	0.00

偏心(7)

X	0.00	Y	-7.10	Z	3.60
α	1.02	β	0.00	γ	0.00

偏心(8)

X	0.00	Y	-7.11	Z	2.80
α	1.02	β	0.00	γ	0.00

偏心(9)

X	0.00	Y	-7.15	Z	0.80
α	1.02	β	0.00	γ	0.00

【0406】

(実施例C)

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 ∞	偏心	屈折率	アッベ数
1	100.00 (RP)		偏心(1)	1.5168	64.1
2	7.00		偏心(2)		
3	FFS①		偏心(3)	1.5254	56.2
4	FFS②		偏心(4)		
5	FFS③ (絞り) (DM)		偏心(5)		
6	FFS②		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS① (RE)		偏心(3)	1.5254	56.2
8	FFS④ (RE)		偏心(6)	1.5254	56.2
9	FFS⑤ (RE)		偏心(7)	1.5254	56.2
10	FFS④		偏心(6)		
11	10.00		偏心(8)	1.5163	64.1
12	∞		偏心(9)		
像面	∞		偏心(10)		
	FFS①				

C_4	1.8163×10^{-2}	C_6	1.1651×10^{-2}	C_8	3.0002×10^{-3}
C_{10}	-3.5383×10^{-4}	C_{11}	-3.3122×10^{-4}	C_{13}	1.2716×10^{-4}
C_{15}	9.7268×10^{-6}				

FFS②

C_4	-4.5005×10^{-3}	C_6	9.0138×10^{-4}	C_8	4.5271×10^{-3}
C_{10}	-1.5303×10^{-3}	C_{11}	3.3446×10^{-4}	C_{13}	5.9680×10^{-4}
C_{15}	2.3049×10^{-4}				

FFS③

OD: ∞

C_4	5.0000×10^{-3}	C_6	0	C_8	2.1463×10^{-3}
C_{10}	1.5585×10^{-3}	C_{11}	-4.7817×10^{-4}	C_{13}	1.3106×10^{-4}
C_{15}	-1.0174×10^{-4}				

OD: 200

C_4	3.9639×10^{-3}	C_6	-2.1776×10^{-3}	C_8	2.1463×10^{-3}
C_{10}	1.5585×10^{-3}	C_{11}	-4.7817×10^{-4}	C_{13}	1.3106×10^{-4}
C_{15}	-1.0174×10^{-4}				

FFS④

C_4	4.3696×10^{-2}	C_6	1.0430×10^{-2}	C_8	7.1557×10^{-3}
C_{10}	-1.2829×10^{-3}	C_{11}	-9.5494×10^{-5}	C_{13}	4.0730×10^{-5}
C_{15}	6.5262×10^{-5}				

FFS⑤

C_4	4.4714×10^{-2}	C_6	2.5659×10^{-2}	C_8	1.9530×10^{-3}
C_{10}	-2.1893×10^{-3}	C_{11}	1.9650×10^{-4}	C_{13}	-9.0025×10^{-5}
C_{15}	2.2762×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	1.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-3.33	Z	3.14
α	-9.55	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-0.13	Z	5.47
α	15.33	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

OD: ∞

X	0.00	Y	-0.35	Z	6.415
α	20.19	β	0.00	γ	0.00

OD: 200

X	0.00	Y	-0.35	Z	6.42
α	20.19	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	-8.71	Z	6.22
α	-3.45	β	0.00	γ	0.00

偏心(7)

X	0.00	Y	-11.69	Z	4.00
α	30.06	β	0.00	γ	0.00

偏心(8)

X	0.00	Y	-11.39	Z	6.60
α	9.61	β	0.00	γ	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	-11.22	Z	7.59
α	9.61	β	0.00	γ	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	-10.77	Z	10.25
α	9.61	β	0.00	γ	0.00

【0407】

(実施例D)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (RP)		偏心(1)	1.5168	64.1
2	10.00		偏心(2)		
3	∞		偏心(3)		
4	FFS①		偏心(4)	1.5254	56.2
5	FFS② (絞り) (RE)		偏心(5)	1.5254	56.2
6	FFS① (RE)		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS③		偏心(6)		
8	FFS④ (DM)		偏心(7)		
9	FFS③		偏心(6)	1.5254	56.2
10	FFS①		偏心(4)		
11	∞		偏心(8)	1.5163	64.1
12	∞		偏心(9)		
像面	∞		偏心(10)		
FFS①					
C_4	-4.7148×10^{-2}	C_6	-1.8559×10^{-2}	C_8	-2.1989×10^{-3}
C_{10}	-1.3752×10^{-3}	C_{11}	6.3011×10^{-4}	C_{13}	-2.3538×10^{-4}
C_{15}	-1.2872×10^{-4}				
FFS②					
C_4	-3.5411×10^{-2}	C_6	-2.2443×10^{-2}	C_8	-4.5396×10^{-4}
C_{10}	-6.6517×10^{-4}	C_{11}	4.4891×10^{-4}	C_{13}	2.2297×10^{-4}
C_{15}	-9.9027×10^{-5}				
FFS③					
C_4	-6.3691×10^{-2}	C_6	-5.2302×10^{-2}	C_8	2.0046×10^{-3}
C_{10}	-1.4613×10^{-3}	C_{11}	-5.9788×10^{-4}	C_{13}	2.5449×10^{-4}
C_{15}	1.5212×10^{-4}				
FFS④					
OD: ∞					
C_4	-3.2044×10^{-2}	C_6	-3.4056×10^{-2}	C_8	-1.1269×10^{-3}
C_{10}	9.3234×10^{-4}	C_{11}	-8.2793×10^{-5}	C_{13}	-9.5598×10^{-4}
C_{15}	-4.0391×10^{-4}				
OD: 100					
C_4	-3.6403×10^{-2}	C_6	-3.5596×10^{-2}	C_8	-9.3276×10^{-4}
C_{10}	1.0425×10^{-3}	C_{11}	1.7142×10^{-4}	C_{13}	-6.2756×10^{-4}
C_{15}	-3.7675×10^{-4}				
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	0.00	Z	4.20
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-3.37	Z	3.23
α	12.78	β	0.00	γ	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	0.37	Z	4.59
α	39.33	β	0.00	γ	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	-5.99	Z	5.91
α	-13.67	β	0.00	γ	0.00
偏心(7)					
OD: ∞					
X	0.00	Y	-6.78	Z	6.28
α	-24.23	β	0.00	γ	0.00
OD: 100					
X	0.00	Y	-6.78	Z	6.28
α	-24.23	β	0.00	γ	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	-7.10	Z	2.99
α	1.02	β	0.00	γ	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	-7.11	Z	2.44
α	1.02	β	0.00	γ	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	-7.15	Z	0.44
α	1.02	β	0.00	γ	0.00

【0408】

(実施例E)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	1000.00			
1	-30.00 (RP)		偏心(1)	1.5168	64.1
2	-19.75		偏心(2)	1.6727	32.2
3	30.00		偏心(3)		
4	XTR① (DM1)		偏心(4)		
5	XTR② (DM2)		偏心(5)		
6	100.0		偏心(6)	1.5168	64.1
7	-20.0		偏心(7)	1.6727	32.2
8	-120.0		偏心(8)		
9	∞ (絞り面)		偏心(9)		
像面	∞				
XTR①					
WE: ∞ (平面)					
TE: Ry -70.0					
Rx -60.622					
XTR②					
WE: Ry 125.0					

R x 108.253
 TE : ∞ (平面)
 偏心(1)
 X 0.00 Y 0.00 Z 0.00
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(2)
 X 0.00 Y 0.00 Z 3.00
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(3)
 X 0.00 Y 0.00 Z 4.30
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(4)
 WE :
 X 0.00 Y 0.00 Z 14.30
 α -30.00 β 0.00 γ 0.00
 TE :
 X 0.00 Y 0.00 Z 15.009
 α -30.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(5)
 WE :
 X 0.00 Y -17.465 Z 4.217
 α -30.00 β 0.00 γ 0.00
 TE :
 X 0.00 Y -17.934 Z 4.6546
 α -30.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(6)
 X 0.00 Y -17.934 Z 13.655
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(7)
 X 0.00 Y -17.934 Z 17.655
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(8)
 X 0.00 Y -17.934 Z 18.655
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心(9)
 X 0.00 Y -17.934 Z 20.655
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

【0409】

(実施例F)

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 10000.00	偏心	屈折率	アッベ数
1	-30.00 (RP)		偏心(1)	1.5168	64.1
2	-19.75		偏心(2)	1.6727	32.2
3	30.00		偏心(3)		
4	XTR① (DM)		偏心(4)		
5	∞ (RE)		偏心(5)		
6	50.0		偏心(6)	1.5168	64.1
7	-20.0		偏心(7)	1.6727	32.2
8	-60.0		偏心(8)		
9	∞ (絞り面)		偏心(9)		

像面 ∞

XTR①

OD : 10000.00

 ∞ (平面)

OD : 1000.00

TE : Ry -400

Rx -346.4

偏心(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.00 Z 3.00

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 0.00 Z 4.30

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

OD : 10000.00

X 0.00 Y 0.00 Z 14.176

 α -30.00 β 0.00 γ 0.00

OD : 1000.00

X 0.00 Y 0.00 Z 14.300

 α -30.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y -17.32 Z 4.30

 α -30.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(6)

X 0.00 Y -17.32 Z 13.30

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(7)

X 0.00 Y -17.32 Z 17.30

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(8)

X 0.00 Y -17.32 Z 18.30

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(9)

X 0.00 Y -17.32 Z 20.30

 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

【0410】

(実施例G)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	ASS① (DM1)	5.5000	偏心(1)		
2	5.2581	3.8903		1.88300	40.76
3	15.4927	3.4495		1.72151	29.23
4	0.9691	1.0000			
5	∞ (絞り面)	0.2000			
6	-40.7277	1.0035		1.88300	40.76
7	1.9125	2.2294		1.83481	42.72
8	-2.6031	0.1000			

9 17.9219 0.9949 1.88300 40.76
 10 8.8386 2.9405
 11 ASS② (DM2) d_1 偏心(2)
 像面 ∞

ASS①

WE:

R 106.39172
 K 0.0000
 A -6.5400×10^{-5}
 B 1.8807×10^{-6}
 C -2.1512×10^{-8}
 D 1.0292×10^{-10}

TE:

R 240.85450
 K 0.0000
 A 2.8699×10^{-5}
 B -7.6530×10^{-7}
 C 1.8985×10^{-8}
 D -1.5367×10^{-10}

ASS②

WE:

R -24.73983
 K 0.0000
 A 2.0754×10^{-3}
 B -2.7716×10^{-4}
 C 1.7647×10^{-5}

TE:

R -49.19751
 K 0.0000
 A -6.0663×10^{-4}
 B 1.8049×10^{-4}
 C -1.0921×10^{-5}

可変間隔 d_1

WE: 5.54732

TE: 5.54510

偏心(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00
 α 45.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00
 α 45.00 β 0.00 γ 0.00

【0411】

(実施例H)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞	1.0000		1.51633	64.14
2	8.4105	5.5000			
3	ASS① (DM1)	4.0000	偏心(1)		
4	3.2414	3.2454		1.88300	40.76
5	1.5926	0.8213			

6	∞ (絞り面)	0.2000		
7	32.9618	7.0342	1.84666	23.78
8	11.5062	2.7774	1.51633	64.14
9	-4.4027	1.8078		
10	36.1618	1.2403	1.72916	54.68
11	-13.6093	4.1642		
12	ASS② (DM2)	d ₁	偏心(2)	

像面 ∞
ASS①

WE :

R 109.58316
K 0.0000
A -6.1107×10^{-4}
B 6.6969×10^{-5}
C -3.1575×10^{-6}
D 5.5493×10^{-8}

TE :

R -175.10236
K 0.0000
A 3.7168×10^{-4}
B -3.0985×10^{-5}
C 1.1219×10^{-6}
D -7.0811×10^{-27}

ASS②

WE :

R -89.25156
K 0.0000
A 5.9040×10^{-4}
B -3.5468×10^{-5}
C 9.0208×10^{-7}

TE :

R 91.42433
K 0.0000
A -4.5028×10^{-4}
B 5.5916×10^{-5}
C -2.4949×10^{-6}

可変間隔 d₁

WE : 5.49484

TE : 5.50021

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	45.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	-34.372	β	0.00	γ	0.00

【0412】

(実施例 I)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	∞	1.0000		1.51633	64.14

2	ANM①	5.0000		
3	ASS① (DM1)	4.0000	偏心(1)	
4	3.0102	3.0708	1.51633	64.14
5	-24.9459	1.5539	1.88300	40.76
6	1.9584	1.0818		
7	∞ (絞り面)	0.2000		
8	-295.2763	6.3253	1.84666	23.78
9	15.8702	2.6272	1.51633	64.14
10	-4.2027	1.7630		
11	-206.7394	1.2972	1.72916	54.68
12	-9.3156	4.1451		
13	ASS② (DM2)	d ₁	偏心(2)	

像面 ∞
ANM①

Ry 41.4008
Rx 61.2166
Ky 0.0000
Kx 0.0000
R1 -1.5273×10^{-3}
R2 1.1686×10^{-4}
R3 -3.7464×10^{-6}
R4 4.7549×10^{-8}
P1 2.4721×10^{-2}
P2 -3.8239×10^{-3}
P3 -5.9130×10^{-3}
P4 1.1138×10^{-2}

ASS①

WE:

R 149.96177
K 0.0000
A -7.0601×10^{-5}
B 2.2751×10^{-6}
C -4.7356×10^{-8}
D 3.6529×10^{-10}

TE:

R -186.85340
K 0.0000
A 3.7389×10^{-4}
B -1.6633×10^{-5}
C 2.5291×10^{-7}
D -7.0811×10^{-27}

ASS②

WE:

R -51.51621
K 0.0000
A 7.0673×10^{-4}
B -3.4212×10^{-5}
C 7.2662×10^{-7}

TE:

R 196.67374

K 0.0000
 A -1.0661×10^{-3}
 B 1.3376×10^{-4}
 C -5.2193×10^{-6}

可変間隔 d_1

WE : 5.43122

TE : 5.45627

偏心(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00
 α 45.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00
 α 45.00 β 0.00 γ 0.00

[0413]

(実施例 J)

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 ∞	偏心	屈折率	アッベ数
1	188.01	4.86		1.7093	54.3
2	ASS①	7.00			
3	-16.52	5.00		1.5268	65.8
4	-7.53	4.00			
5	FFS① (DM1)	5.00	偏心(1)		
6	∞ (絞り面)	0.50			
7	ASS②	2.00		1.4875	70.2
8	-728.98	4.00			
9	FFS② (DM2)	4.00	偏心(2)		
10	118.60	1.95		1.4875	70.2
11	-5.57	4.53		1.8467	23.8
12	-26.99	4.00			
13	FFS③ (DM3)	4.00	偏心(3)		
14	-9.15	3.00		1.5263	65.9
15	ASS③	1.00			
16	∞	0.80		1.5163	64.1
17	∞	1.80		1.5477	62.8
18	∞	0.50			
19	∞	0.50		1.5163	64.1
20	∞	1.00			
像 面	∞				

ASS①

R 3.68
 K 0.0000
 A -3.0236×10^{-4}
 B -2.4721×10^{-4}
 C 1.9293×10^{-5}
 D -1.7320×10^{-6}

ASS②

R -9.14
 K 0.0000
 A 4.7221×10^{-6}
 B 2.5368×10^{-6}

C -2.0457×10^{-7} D 6.2856×10^{-9}

ASS③

R 12.33

K 0.0000

A -5.7706×10^{-4} B 1.6455×10^{-5} C -2.7671×10^{-6} D 9.5513×10^{-8}

FFS①

WE :

C₄ 1.3195×10^{-3} C₆ 1.6555×10^{-4} C₈ 2.5372×10^{-5} C₁₀ -2.9788×10^{-6} C₁₁ 9.7932×10^{-6} C₁₃ 3.8809×10^{-6} C₁₅ 1.2337×10^{-6}

TE :

C₄ -1.1656×10^{-2} C₆ -9.1985×10^{-4} C₈ 4.6664×10^{-5} C₁₀ 4.0729×10^{-5} C₁₁ 3.4607×10^{-6} C₁₃ -2.1879×10^{-6} C₁₅ -1.0285×10^{-6}

FFS②

WE :

C₄ 1.8423×10^{-3} C₆ -1.4463×10^{-4} C₈ 1.5642×10^{-4} C₁₀ -2.5385×10^{-5} C₁₁ -1.3512×10^{-6} C₁₃ 4.2397×10^{-6} C₁₅ -2.8277×10^{-6}

TE :

C₄ -2.5101×10^{-2} C₆ 1.7952×10^{-3} C₈ -1.3478×10^{-3} C₁₀ 2.2259×10^{-4} C₁₁ 4.1435×10^{-6} C₁₃ -9.2639×10^{-5} C₁₅ 8.7872×10^{-6}

FFS③

WE :

C₄ -7.6689×10^{-5} C₆ -1.1461×10^{-3} C₈ 1.0248×10^{-4} C₁₀ -2.2888×10^{-5} C₁₁ -3.2560×10^{-5} C₁₃ 2.3921×10^{-6} C₁₅ -5.6394×10^{-6}

TE :

C₄ 7.4185×10^{-3} C₆ 1.7664×10^{-2} C₈ -8.0810×10^{-4} C₁₀ 5.1976×10^{-4} C₁₁ -4.7072×10^{-5} C₁₃ -1.8546×10^{-4} C₁₅ 2.7899×10^{-5}

偏心(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

 α -45.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

 α 45.00 β 0.00 γ 0.00

【0414】

偏心(3)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

 α 45.00 β 0.00 γ 0.00

【0415】

(実施例K)

面番号 曲率半径

物体面 ∞

面間隔

 ∞

偏心

屈折率

アッペ数

1	99.38	4.38	1.6480	57.6
2	ASS①	7.00		
3	-23.52	4.38	1.5272	49.3
4	-8.83	4.00		
5	FFS① (DM1)	5.00	偏心(1)	
6	∞ (絞り面)	0.50		
7	ASS②	2.00	1.4875	70.2
8	27.63	4.00		
9	FFS② (DM2)	4.00	偏心(2)	
10	-88.03	2.33	1.6162	59.3
11	-5.12	2.97	1.8467	23.8
12	-13.95	4.00		
13	FFS③ (DM3)	4.00	偏心(3)	
14	-13.06	3.00	1.4875	70.2
15	ASS③	1.00		
16	∞	0.80	1.5163	64.1
17	∞	1.80	1.5477	62.8
18	∞	0.50		
19	∞	0.50	1.5163	64.1
20	∞	1.00		
像面	∞			

ASS①

R	3.78
K	0.0000
A	-9.9411×10^{-4}
B	-1.2686×10^{-4}
C	7.9744×10^{-6}
D	-1.1175×10^{-6}

ASS②

R	-17.37
K	0.0000
A	1.9221×10^{-5}
B	-4.7245×10^{-5}
C	1.4660×10^{-5}
D	-1.6412×10^{-6}

ASS③

R	9.37
K	0.0000
A	-1.1445×10^{-3}
B	7.2645×10^{-5}
C	-4.4423×10^{-6}
D	9.7740×10^{-8}

FFS①

WE :

C_4	-1.0242×10^{-3}	C_6	-2.9132×10^{-3}	C_8	-1.7482×10^{-5}
C_{10}	-5.8646×10^{-6}	C_{11}	-6.7499×10^{-6}	C_{13}	-1.6480×10^{-5}
C_{15}	-5.3516×10^{-6}				

TE :

C_4	-1.1888×10^{-2}	C_6	-2.5578×10^{-3}	C_8	7.4643×10^{-5}
C_{10}	3.3620×10^{-5}	C_{11}	-5.6066×10^{-6}	C_{13}	-1.4296×10^{-5}

$$C_{15} -5.1085 \times 10^{-6}$$

FFS②

WE :

$$C_4 -1.2349 \times 10^{-3} \quad C_6 -4.8627 \times 10^{-3} \quad C_8 -9.3065 \times 10^{-5}$$

$$C_{10} -2.7168 \times 10^{-4} \quad C_{11} 1.3448 \times 10^{-5} \quad C_{13} -1.6792 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} -2.3260 \times 10^{-5}$$

TE :

$$C_4 -2.1788 \times 10^{-2} \quad C_6 1.6763 \times 10^{-3} \quad C_8 -9.0487 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} 1.7415 \times 10^{-4} \quad C_{11} -1.0766 \times 10^{-4} \quad C_{13} -9.6712 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} 4.3032 \times 10^{-6}$$

FFS③

WE :

$$C_4 3.6425 \times 10^{-4} \quad C_6 -3.3124 \times 10^{-3} \quad C_8 -6.6428 \times 10^{-5}$$

$$C_{10} -1.4832 \times 10^{-4} \quad C_{11} 1.7998 \times 10^{-6} \quad C_{13} 5.7814 \times 10^{-6}$$

$$C_{15} -5.4564 \times 10^{-6}$$

TE :

$$C_4 1.0084 \times 10^{-2} \quad C_6 2.0630 \times 10^{-2} \quad C_8 -6.9625 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} 3.5904 \times 10^{-4} \quad C_{11} -3.6557 \times 10^{-5} \quad C_{13} -1.3505 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} 2.8988 \times 10^{-5}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad -36.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad 45.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad 39.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

【0416】

(実施例L)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)	17.00			
2	ASS① (DM1)	d_1			
3	ASS② (DM2)	d_2			
4	10.17	1.80		1.5713	52.9
5	-9.11	1.00		1.7725	49.6
6	18.98	d_3			
像面	∞				
ASS①					

WE :

$$R \quad -56.07$$

$$K \quad -6.6587 \times 10^{-1}$$

$$A \quad 1.4016 \times 10^{-6}$$

$$B \quad 5.4841 \times 10^{-9}$$

$$C \quad -7.2045 \times 10^{-11}$$

$$D \quad 4.8599 \times 10^{-13}$$

TE :

$$R \quad -57.25$$

$$K \quad -2.3246 \times 10^{-1}$$

$$A \quad 8.4461 \times 10^{-7}$$

B -4.0454×10^{-10}
 C 5.5081×10^{-12}
 D 1.6847×10^{-15}

ASS②

WE :

R -83.86
 K -2.4760×10
 A 1.5233×10^{-5}
 B 3.3907×10^{-7}
 C -2.8012×10^{-8}
 D 8.0957×10^{-10}

TE :

R -41.56
 K -2.5160×10
 A -2.4200×10^{-5}
 B 1.1173×10^{-6}
 C -8.1069×10^{-8}
 D 2.5583×10^{-9}

可変間隔 d_1

WE : -13.268

TE : -17.000

可変間隔 d_2

WE : 15.000

TE : 19.457

可変間隔 d_3

WE : 5.000

TE : 4.275

【0417】

(実施例M)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	14.04	1.85		1.8467	23.8
2	24.90	2.21			
3	21.02	1.94		1.7891	25.4
4	-16.31	1.00		1.7725	49.6
5	3.88	6.18			
6	∞ (絞り面)	1.33			
7	-7.30	1.11		1.8204	28.8
8	9.09	2.12		1.6698	56.6
9	-7.00	0.50			
10	29.43	3.00		1.6835	56.0
11	-10.92	5.50			
12	FFS① (DM)	5.50	偏心(1)		
13	-7.85	3.00		1.5568	63.2
14	-37.04	5.43			
像面	∞				

FFS①

OD : ∞ (平面)

OD : 100

C_4 -1.0215×10^{-3} C_6 -5.3693×10^{-4} C_8 7.2810×10^{-6}

$$C_{10} \quad 9.5760 \times 10^{-6} \quad C_{11} \quad 3.2283 \times 10^{-6} \quad C_{13} \quad 4.2419 \times 10^{-6}$$

$$C_{15} \quad 5.7400 \times 10^{-7}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad 45.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

【0418】次に、上記実施例B、E、K、Lの横収差図を図60～図67に示す。この中、図60、図61は実施例Bの遠点、近点合焦時の横収差、図62、図63は実施例Eの広角端、望遠端の横収差、図64、図65は実施例Kの広角端、望遠端の横収差、図66、図67は実施例Lの広角端、望遠端の横収差であり、これらの横収差図において、括弧内に示された数字は画角であり、括弧内に示された2つの数字は（水平（X方向）画

角、垂直（Y方向）画角）を表し、その画角における横収差を示す。なお、実施例Eの横収差は虚像面での収差である。

【0419】次に、上記実施例A～Mの前記条件式

(2)、(8)、(12)～(24)の値を示す。Dは可変ミラーの光束通過部分と等面積の円の直径である。

【0420】

(実施例A)

可変ミラー

状態

光束通過部分の形状

 Δ $(1/5) \times D$

H

HJ/HK

 ϕ P_I P_V ΔP_I ΔP_V $|P_I / (P_V \cos \phi)|$ $|P_I / P_{TOT}|$ $|P_V / P_{TOT}|$ $|\Delta P_I / P_{TOT}|$ $|\Delta P_V / P_{TOT}|$

	1	2
TE-WE	TE-WE	TE-WE
楕円形	正方形	
0.0016	0.0740	
0.332	0.8	
0.04	0.042	
0.0952		
27	40	
-0.0361	0.0757	
-0.0359	0.1029	
-0.0361	-0.0757	
-0.0359	-0.1029	
1.1273	0.9604	
0.2094	0.4392	
0.2085	0.5969	
0.2094	0.4392	
0.2085	0.5969	

【0421】

(実施例B)

状態

光束通過部分の形状

 Δ $(1/5) \times D$

H

 ϕ P_I P_V ΔP_I ΔP_V $|P_I / (P_V \cos \phi)|$ $|P_I / P_{TOT}|$ $|P_V / P_{TOT}|$ $|\Delta P_I / P_{TOT}|$ $|\Delta P_V / P_{TOT}|$ $|f_1 / f_{TOT}|$ $|f_2 / f_{TOT}|$

	近点	遠点
角の丸い長方形	角の丸い長方形	角の丸い長方形
0.006	0.01	
1.42	1.42	
0.09	0.09	
40	40	
-0.0757	-0.0681	
-0.0781	-0.0641	
-0.0078		
-0.0140		
1.2659	1.3877	
0.2876	0.2589	
0.2966	0.2435	
0.0288		
0.0531		
5.0919		
5.5366		

【0422】

(実施例C)

状態	近点	遠点
光束通過部分の形状	楕円形	楕円形
Δ	0.005	0.007
$(1/5) \times D$	0.508	0.508
H	0.005	0.005
ϕ	37	37
P_I	-0.0044	0
P_V	0.0079	0.01
ΔP_I	-0.0044	
ΔP_V	-0.0021	
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	0.6879	0
$ P_I / P_{TOT} $	0.0209	0
$ P_V / P_{TOT} $	0.0381	0.048
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0209	
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0099	
$ f_1 / f_{TOT} $	3.0454	
$ f_2 / f_{TOT} $	4.0348	

【0423】

(実施例D)

状態	近点	遠点
光束通過部分の形状	角の丸い正方形	角の丸い正方形
Δ	0.01	0.1
$(1/5) \times D$	1.46	1.46
H	0.06	0.06
ϕ	41	41
P_I	-0.0712	-0.0681
P_V	-0.0728	-0.0641
ΔP_I	-0.0031	
ΔP_V	-0.0087	
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.2956	1.4082
$ P_I / P_{TOT} $	0.2990	0.2861
$ P_V / P_{TOT} $	0.3058	0.2692
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0129	
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0366	
$ f_1 / f_{TOT} $	4.607	

【0424】

(実施例E)

可変ミラー 状態	1	2
光束通過部分の形状	TE-WE 楕円形	TE-WE 楕円形
Δ	0.001	0.00003
$(1/5) \times D$	2.6	1.72
H	0.62	0.14
ϕ	30	30
HJ/HK	4.4286	
P_I	-0.0143	-0.008
P_V	-0.0165	-0.0092
ΔP_I	-0.0143	0.008

【0425】

ΔP_V	-0.0165	0.0092
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.0007	0.9997
$ P_I / P_{\square} $	-0.2917	-0.1632
$ P_V / P_{\square} $	-0.3366	-0.1885

(実施例F)

状態	近点	遠点
光束通過部分の形状	楕円形	楕円形
Δ	0.000003	0.000003
$(1/5) \times D$	2.38	2.38
H	0.05	0.05
ϕ	30	30
P_I	-0.0025	0
P_V	-0.0029	0
ΔP_I	-0.0025	
ΔP_V	-0.0029	
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	0.9954	1.1547
$ P_I / P_{\square} $	-0.051	0
$ P_V / P_{\square} $	-0.0592	0

【0426】

(実施例G)

可変ミラー 状態	1 TE-WE	2 TE-WE
Δ	0.0041	0.0818
$(1/5) \times D$	1.62	0.54
H	0.1534	0.0200
HJ/HK	7.684	
ϕ	45.0	45.0
P_I	0.0094	-0.0404
P_V	0.0094	-0.0404
ΔP_I	0.0094	-0.0404
ΔP_V	0.0094	-0.0404
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.4142	1.4142
$ P_I / P_{TOT} $	0.0639	0.3517
$ P_V / P_{TOT} $	0.0639	0.3517
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0639	0.3517
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0639	0.3517
$ f_{\square} $	3.4	3.4
$ P_I / P_{\square} $	0.0318	0.1367
$ P_V / P_{\square} $	0.0318	0.1367
$ f_1 / f_{TOT} $	1.74	1.36
$ f_2 / f_{TOT} $	7.82	6.11
$ f_3 / f_{TOT} $	0.50	0.39
$ f_4 / f_{TOT} $	3.06	2.39
$ f_5 / f_{TOT} $	1.82	1.42

【0427】

(実施例H)

可変ミラー 状態	1 TE-WE	2 TE-WE
Δ	0.0365	0.0650

$(1/5) \times D$	1.00	1.60
H	0.0300	0.0625
HJ/HK	0.480	
ϕ	45.0	34.4
P_I	0.0091	-0.0112
P_V	0.0091	-0.0112
ΔP_I	0.0091	-0.0112
ΔP_V	0.0091	-0.0112
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.4142	1.2116
$ P_I / P_{TOT} $	0.0411	0.0728
$ P_V / P_{TOT} $	0.0411	0.0728
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0411	0.0728
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0411	0.0728
$ f_n $	9.5	9.5
$ P_I / P_n $	0.0864	0.1061
$ P_V / P_n $	0.0864	0.1061
$ f_1 / f_{TOT} $	3.62	2.51
$ f_2 / f_{TOT} $	12.18	8.43
$ f_3 / f_{TOT} $	10.23	7.08
$ f_4 / f_{TOT} $	2.10	1.46
$ f_5 / f_{TOT} $	3.05	2.11
$ f_6 / f_{TOT} $	9.92	6.87

【0428】

(実施例 I)

可変ミラー
状態

	1 TE-WE	2 TE-WE
Δ	0.0562	0.1279
$(1/5) \times D$	1.22	0.82
H	0.0210	0.0836
HJ/HK	0.251	
ϕ	45.0	45.0
P_I	0.0067	-0.0194
P_V	0.0067	-0.0194
ΔP_I	0.0067	-0.0194
ΔP_V	0.0067	-0.0194
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.4142	1.4142
$ P_I / P_{TOT} $	0.0393	0.1728
$ P_V / P_{TOT} $	0.0393	0.1728
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0393	0.1728
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0393	0.1728
$ f_n $	9.5	9.5
$ P_I / P_n $	0.0634	0.1844
$ P_V / P_n $	0.0634	0.1844
$ f_1 / f_{TOT} $	13.59	9.01
$ f_2 / f_{TOT} $	12.71	8.42
$ f_3 / f_{TOT} $	2.35	1.56
$ f_4 / f_{TOT} $	1.61	1.07
$ f_5 / f_{TOT} $	2.26	1.50
$ f_6 / f_{TOT} $	4.37	2.89

【0429】

(実施例J)

可変ミラー
状態

	1	2	3
TE-WE	TE-WE	TE-WE	TE-WE
Δ	0.0012	0.0101	0.0111
$(1/5) \times D$	2.12	1.84	1.96
H	0.3300	0.4740	0.3470
HI/HJ	0.696		
HJ/HK		1.366	
HK/HI			1.052
ϕ	45.0	45.0	45.0
P_I	0.0003	-0.0003	-0.0023
P_V	0.0026	0.0037	-0.0002
ΔP_I	0.0003	0.0003	-0.0023
ΔP_V	0.0026	-0.0037	-0.0002
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	0.1774	0.1110	21.1351
$ P_I / P_{TOT} $	0.0016	0.0014	0.0108
$ P_V / P_{TOT} $	0.0124	0.0173	0.0007
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0016	0.0014	0.0108
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0124	0.0173	0.0007
$ f_n $	5.4	5.4	5.4
$ P_I / P_n $	0.0018	0.0016	0.0124
$ P_V / P_n $	0.0143	0.0199	0.0008
$ f_1 / f_{TOT} $	1.14	1.14	1.14
$ f_2 / f_{TOT} $	4.70	4.70	4.70
$ f_3 / f_{TOT} $	4.05	4.05	4.05
$ f_4 / f_{TOT} $	8.82	8.82	8.82
$ f_5 / f_{TOT} $	2.24	2.24	2.24

【0430】

(実施例K)

可変ミラー
状態

	1	2	3
TE-WE	TE-WE	TE-WE	TE-WE
Δ	0.0012	0.0101	0.0111
$(1/5) \times D$	1.36	1.28	1.68
H	0.0980	0.1960	0.4290
HI/HJ	0.500		
HJ/HK		0.457	
HK/HI			4.378
ϕ	36.0	45.0	39.0
P_I	-0.0058	-0.0097	-0.0066
P_V	-0.0020	-0.0025	0.0007
ΔP_I	-0.0058	-0.0097	-0.0066
ΔP_V	-0.0020	-0.0025	0.0007
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	3.5158	5.5688	11.7015
$ P_I / P_{TOT} $	0.0273	0.0456	0.0311
$ P_V / P_{TOT} $	0.0096	0.0116	0.0034
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0273	0.0456	0.0311
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0096	0.0116	0.0034
$ f_n $	6.2	6.2	6.2
$ P_I / P_n $	0.0361	0.0603	0.0411
$ P_V / P_n $	0.0127	0.0153	0.0045

$ f_1 / f_{TOT} $	1.32	1.32	1.32
$ f_2 / f_{TOT} $	5.18	5.18	5.18
$ f_3 / f_{TOT} $	4.73	4.73	4.73
$ f_4 / f_{TOT} $	15.24	15.24	15.24
$ f_5 / f_{TOT} $	2.50	2.50	2.50

【0431】

(実施例L)

可変ミラー 状態	1 TE-WE	2 TE-WE
Δ	0.0037	0.0025
$(1/5) \times D$	2.80	1.40
H	0.0067	0.0970
HJ/HK	0.069	
ϕ	0.0	0.00
P_I	-0.0178	-0.0119
P_V	-0.0178	-0.0119
ΔP_I	-0.0178	-0.0119
ΔP_V	-0.0178	-0.0119
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.0000	1.0000
$ P_I / P_{TOT} $	0.7135	0.4770
$ P_V / P_{TOT} $	0.7135	0.4770
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.7135	0.4770
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.7135	0.4770
$ f_{\square} $	28.0	28.6
$ P_I / P_{\square} $	0.5000	0.3414
$ P_V / P_{\square} $	0.5000	0.3414
$ f_1 / f_{TOT} $	0.70	0.70
$ f_2 / f_{TOT} $	1.05	1.05
$ f_3 / f_{TOT} $	14.17	14.17

【0432】

(実施例M)

状態	近点	遠点
Δ	0	0.0015
$(1/5) \times D$	1.86	1.86
H	0.0000	0.0177
ϕ	45.0	45.0
P_I	0.0000	-0.0011
P_V	0.0000	-0.0020
ΔP_I		-0.0011
ΔP_V		-0.0020
$ P_I / (P_V \cos \phi) $	1.4142	0.7434
$ P_I / P_{TOT} $	0.0000	0.0069
$ P_V / P_{TOT} $	0.0000	0.0131
$ \Delta P_I / P_{TOT} $	0.0000	0.0069
$ \Delta P_V / P_{TOT} $	0.0000	0.0131
$ f_{\square} $	6.7	6.7
$ P_I / P_{\square} $	0.0000	0.0072
$ P_V / P_{\square} $	0.0000	0.0138
$ f_1 / f_{TOT} $	5.51	5.51
$ f_2 / f_{TOT} $	1.05	1.05

$$\begin{array}{l} |f_3 / f_{TOT}| \\ |f_4 / f_{TOT}| \\ |f_5 / f_{TOT}| \end{array}$$

13.09	13.09
1.88	1.88
2.70	2.70

【0433】以上、いくつかの実施例では可変ミラーの中心部を固定して形状を変化させているが、可変ミラー周辺部を固定して略同じ面形状の変化をさせてもよい。

【0434】最後に、本発明で用いる用語の定義を述べておく。

【0435】光学装置とは、光学系あるいは光学素子を含む装置のことである。光学装置単独で機能しなくてもよい。つまり、装置の一部でもよい。

【0436】光学装置には、撮像装置、観察装置、表示装置、照明装置、信号処理装置等が含まれる。

【0437】撮像装置の例としては、フィルムカメラ、デジタルカメラ、テレビカメラ、動画記録装置、電子動画記録装置、カムコーダ、VTRカメラ、電子内視鏡等がある。

【0438】観察装置の例としては、顕微鏡、望遠鏡、眼鏡、双眼鏡、ルーペ、ファイバースコープ、ファインダー、ビューファインダー等がある。

【0439】表示装置の例としては、液晶ディスプレイ、ビューファインダー、頭部装着型画像表示装置 (head mounted display: HMD)、PDA (携帯情報端末) 等がある。

【0440】照明装置の例としては、カメラのストロボ、自動車のヘッドライト、内視鏡光源、顕微鏡光源等がある。

【0441】信号処理装置の例としては、光ディスクの読取・書込装置、光計算機の演算装置等がある。

【0442】撮像素子は、例えばCCD、撮像管、固体撮像素子、写真フィルム等を指す。また、平行平面板はプリズムの1つに含まれるものとする。観察者の変化には、視度の変化を含むものとする。被写体の変化には、被写体となる物体距離の変化、物体の移動、物体の動き、振動、物体のぶれ等を含むものとする。

【0443】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、例えば光学特性、例えば焦点距離の変わる光学素子を実現でき、それらを活用することで、機械的な光学素子の移動を行うことなく、フォーカシング機能、ズーミング機能、小型化、ブレ防止、各種補正等を実現できる光学装置を実現することができ。また、フォトニック結晶を用いることで、より優れたHMDを実現することができる。また、本発明によれば、光学素子、光学系の形状、偏心、あるいは、光学素子の屈折率、屈折率分布等の測定を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1例の光学装置の構成を示す図である。

【図2】可変ミラーの面形状に用いる回転双曲面を示す

図である

【図3】可変ミラーの面形状に用いる回転回転楕円面を示す図である

【図4】可変ミラーの別の実施例を示す図である。

【図5】電極を同心分割することを示す図である。

【図6】電極を矩形分割することを示す図である。

【図7】可変ミラーのさらに他の実施例を示す図である。

【図8】可変ミラーのさらに他の実施例を示す図である。

【図9】可変ミラーのさらに他の実施例を示す図である。

【図10】可変ミラーのさらに他の実施例を示す図である。

【図11】薄膜コイルの巻密度が場所によって変化している様子を示す図である。

【図12】コイルを1個用いる構成を示す図である。

【図13】可変ミラーのさらに他の実施例を示す図である。

【図14】コイルの配置を示す別の例の構成を示す図である。

【図15】コイルの他の配置例を示す図である。

【図16】図9の実施例における永久磁石の配置を示す図である。

【図17】本発明による光学装置の第2実施例の構成を示す図である。

【図18】液晶可変ミラーの構成を示す図である。

【図19】本発明に用いる1例の静電駆動ミラーを示す図である。

【図20】電極を曲面上に形成した静電駆動ミラーを示す図である。

【図21】複数の電極を同一平面からずらして薄膜の変形の仕方をコントロールする例を示す図である。

【図22】拡張曲面を有する反射鏡を用いた光学装置の例の構成を示す図である。

【図23】可変ミラーを2つ以上用いて光学系を形成した例の構成を示す図である。

【図24】本発明の1例のズームファインダーの構成を示す図である。

【図25】図24の別の方向から見た図である。

【図26】本発明の1例のデジタルカメラ用の一眼レフ光学系の構成を示す図である。

【図27】本発明の別の1例のグレゴリー式反射望遠鏡の構成を示す図である。

【図28】静電駆動の可変ミラーを用いたズーム式ガリレオ式ファインダーの例の構成を示す図である。

【図29】図28のファインダー光学系の観察方向を説

明するための図である。

【図 30】光学特性可変ミラーを用いた撮像光学系の例の構成を示す図である。

【図 31】本発明の 1 例で静電駆動の可変ミラーを用いたデジタルカメラあるいは側視の電子内視鏡用の撮像装置の構成を示す図である。

【図 32】本発明の 1 例で静電駆動の可変ミラーを用いてピント合わせを行う斜視の電子内視鏡の構成を示す図である。

【図 33】本発明の別の 1 例で 2 つの静電気駆動の可変ミラーを用いたズームのデジタルカメラあるいは電子内視鏡用の撮像装置の構成を示す図である。

【図 34】流体可変ミラーの 1 例の構成を示す図である。

【図 35】ヘッドマウンテッドディスプレイに可変ミラーを用いた例の構成を示す図である。

【図 36】図 35 の LCD に表示する遠近物体を含む画像の例を示す図である。

【図 37】本発明の 1 例で拡張曲面プリズムの表面にフォトニック結晶で作ったホログラム反射鏡を形成したもの構成を示す図である。

【図 38】フォトニック結晶の構成を模式的に示す図である。

【図 39】拡張曲面ミラーを用いた図 37 の変形例を示す図である。

【図 40】本発明の実施例に用いられている非球面レンズ、拡張曲面を有する光学素子の測定法を示す図である。

【図 41】図 40 の測定における画像処理を説明するための図である。

【図 42】図 41 の光線のスクリーン上での位置を示す図である。

【図 43】図 42 の場合の画像処理を説明するための図である。

【図 44】本発明に用いられる非球面レンズ等の屈折率、屈折率の変化、屈折率の分布を測定する方法を説明するための図である。

【図 45】図 44 の場合の測定の配置を示す図である。

【図 46】被検物を傾けて配置して測定する様子を示す図である。

【図 47】本発明の実施例 A の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 48】本発明の実施例 B の光学系の遠方合焦時の断面図である。

【図 49】本発明の実施例 C の光学系の近方合焦時の断面図である。

【図 50】本発明の実施例 D の光学系の遠方合焦時の断面図である。

【図 51】本発明の実施例 E の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 52】本発明の実施例 F の光学系の近方合焦時の断面図である。

【図 53】本発明の実施例 G の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 54】本発明の実施例 H の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 55】本発明の実施例 I の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 56】本発明の実施例 J の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 57】本発明の実施例 K の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 58】本発明の実施例 M の光学系の広角端と望遠端の断面図である。

【図 59】本発明の実施例 M の光学系の遠方合焦時の断面図である。

【図 60】本発明の実施例 B の遠点合焦時の横収差図である。

【図 61】本発明の実施例 B の近点合焦時の横収差図である。

【図 62】本発明の実施例 E の広角端での横収差図である。

【図 63】本発明の実施例 E の望遠端での横収差図である。

【図 64】本発明の実施例 K の広角端での横収差図である。

【図 65】本発明の実施例 K の望遠端での横収差図である。

【図 66】本発明の実施例 L の広角端での横収差図である。

【図 67】本発明の実施例 L の望遠端での横収差図である。

【図 68】従来のファインダーで視度調節のために接眼レンズを移動させる様子を示す図である。

【符号の説明】

3…撮像レンズ

4…プリズム

4A…プリズム面

5…二等辺直角プリズム

6…ミラー

8…固体撮像素子

9…光学特性可変ミラー

9a…薄膜（反射面）

9b…電極

9c…電圧素子

9c'…圧電素子

9d…電極

9e…基板

9b1、9b2、9b3、9b4、9b5…電極

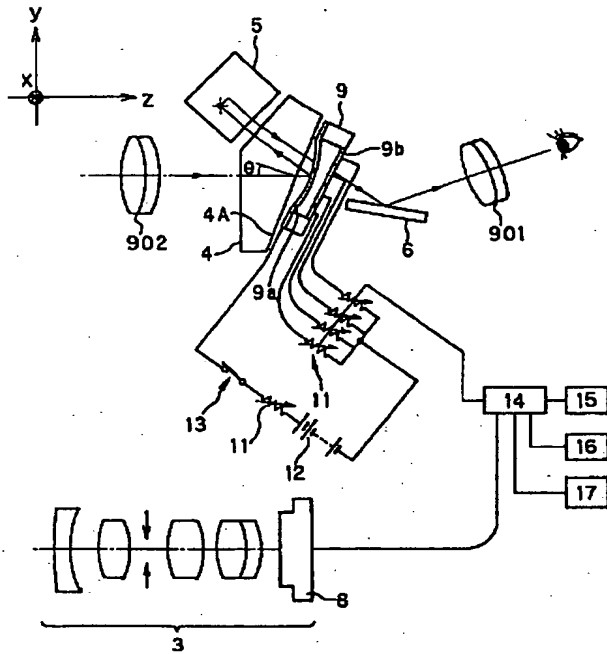
9J、9K…静電駆動可変ミラー

- 9 T…静電駆動可変ミラー
9 U…静電駆動可変ミラー
1 1…可変抵抗器
1 2…電源
1 2 B…電源
1 4…演算装置
1 4 B…反転処理部
1 4 M…メモリ
1 3…電源スイッチ
1 5…温度センサー
1 6…湿度センサー
1 7…距離センサー
2 0…拡張曲面プリズム
2 0 J、2 0 K…拡張曲面プリズム
2 3…支持台
2 3 A、2 3 B、2 3 C…基板
2 4…振れ (ブレ) センサー
2 5…駆動回路
2 6…永久磁石
2 7…コイル
2 8…駆動回路
2 8'…薄膜コイル
2 9…切換え兼電源開閉用のスイッチ
3 0…プリズム
3 1…液晶可変ミラー
3 1 a…透明電極
3 1 b…基板
3 1 c…分割電極
3 1 d…ツイストネマチック液晶
3 3…レンズ
4 5…LCD (液晶ディスプレイ)
4 5 B…液晶表示装置
4 5 J…プリンタ
6 0…反射鏡
6 1…ズームファインダー
6 2、6 3…プリズム
6 4…レンズ
6 5…プリズム
6 6…半透過コーティング
6 7…レンズ
6 8…水晶ローパスフィルター
6 9…赤外カットフィルター
7 0…透明電極
7 2…反射コーティングなし部分
7 3…透明部
7 4…焦点面
7 6…凹レンズ
7 7…凸レンズ
7 8…照明装置
7 9…カメラ、デジタルカメラ
8 1、8 2、8 4…回転対称な曲面を持つ光学素子 (レンズ)
8 3…プリズム
8 3 A…透過面
8 3 B…プリズムの面
8 5…流体可変ミラー
8 6…ピストン
8 7…流体
8 8…反射面
9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6…可変ミラー
9 6 a…反射膜
9 6 b…電極
1 0 1…拡張曲面プリズム
1 0 2…フォトニック結晶
1 0 3…ホログラム反射鏡
1 0 4…拡張曲面ミラー
1 0 7…視線検知装置
1 1 0…自由曲面プリズム
1 1 1…第 1 面
1 1 2…第 2 面
1 1 3…第 3 面
1 1 4…第 4 面
1 1 5、1 1 6…可変ミラー
1 1 7…平行平板
1 1 8…撮像面 (結像面)
1 1 9…凹レンズ
1 2 0…凸レンズ
1 2 1…対物レンズ
1 2 2…接眼レンズ
1 2 3…固定ミラー
1 2 4…絞り
1 2 5…前群
1 2 5 a…アナモルフィック面を持つレンズ
1 2 6…後群
1 2 7…可変ミラー
1 2 8…平行平板群
1 4 2…ヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD)
1 9 2…表示用電子回路
1 9 3…駆動回路
2 0 0…マッハツェンダー型干渉計
2 0 1…基準レンズ
2 0 2…被検レンズ
2 0 3…スクリーン
2 0 4…テレビカメラ
2 0 5…コンピュータ
2 0 6…レーザー
2 0 7…モニターTV
2 0 8…遮蔽
8 0 1…被検レンズ
8 0 2、8 0 3…キャンセラー

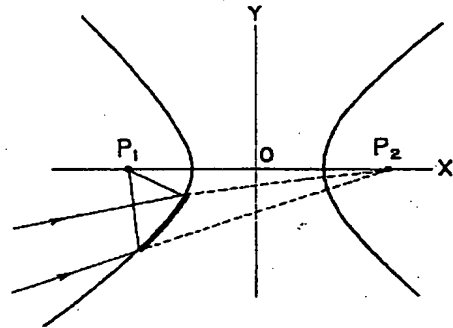
804…非球面
805…マツチングオイル
806…球面
807…フィゾー型干渉計
808…ミラー

809…参照面
810…平面
901…接眼レンズ
902…対物レンズ
903…ポロII型プリズム

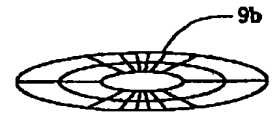
【図1】



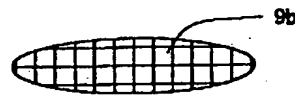
【図2】



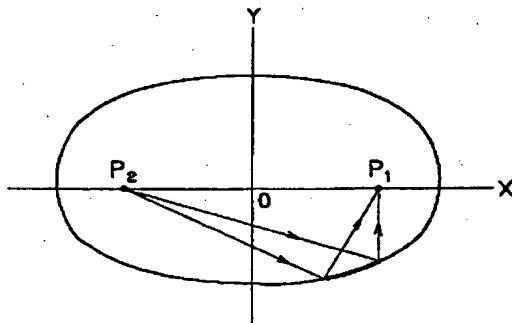
【図5】



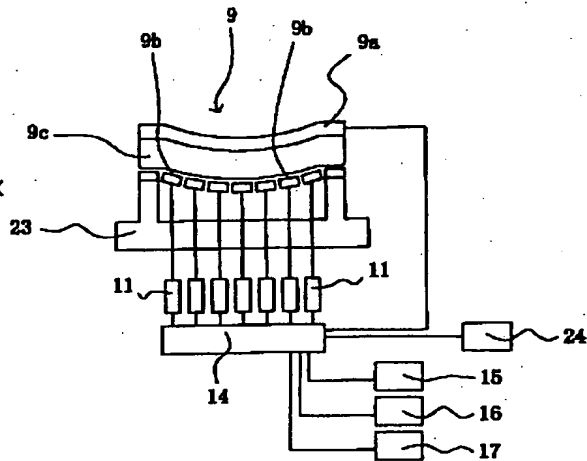
【図6】



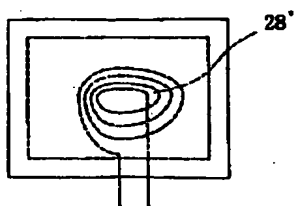
【図3】



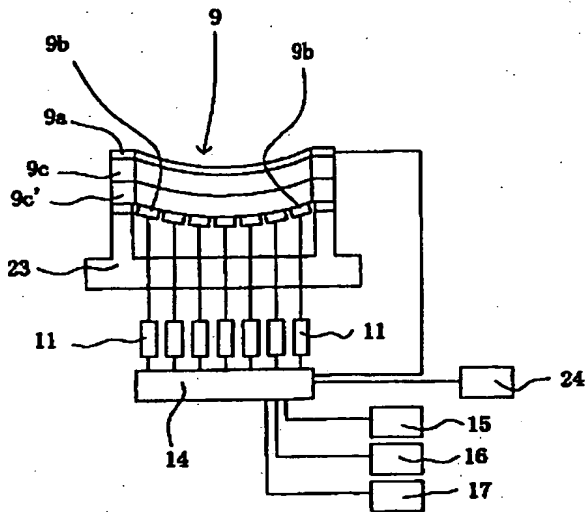
【図4】



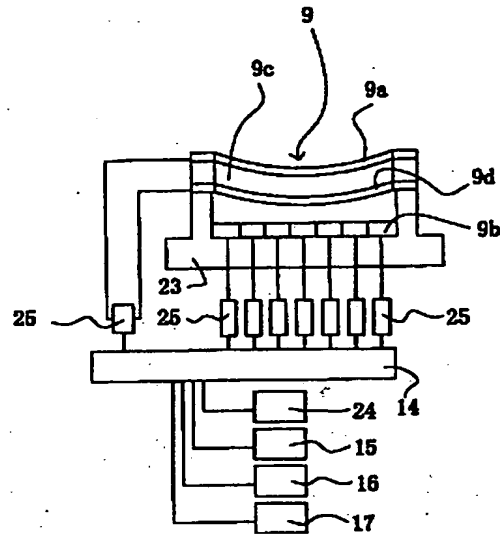
【図11】



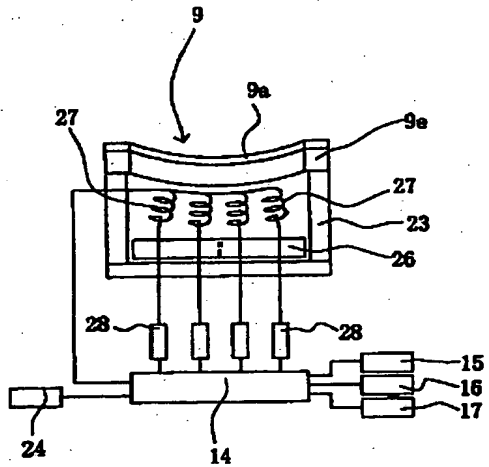
【図 7】



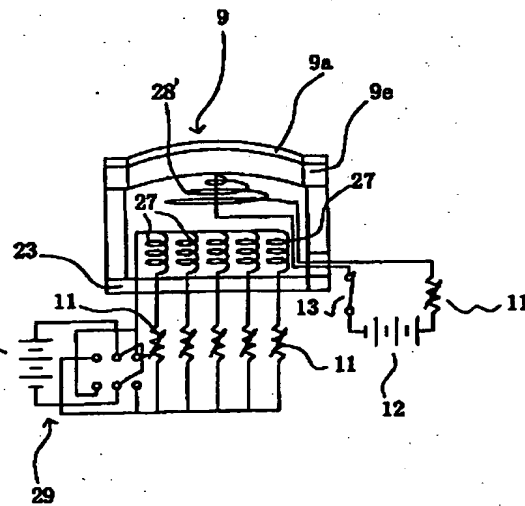
【図 8】



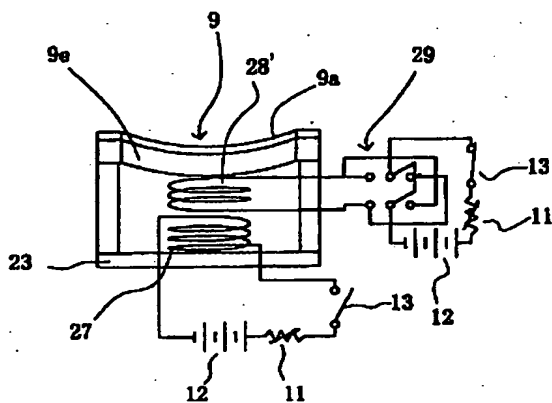
【図 9】



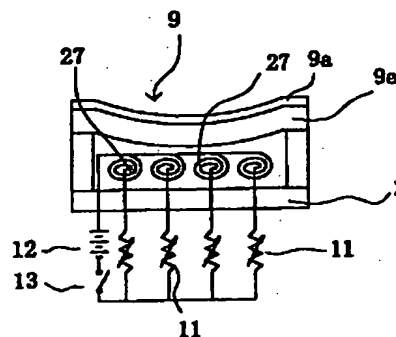
【図 10】



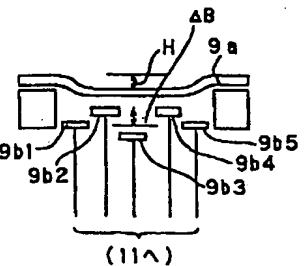
【図 12】



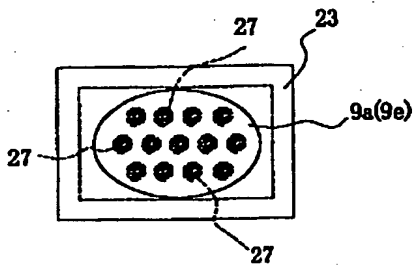
【図 13】



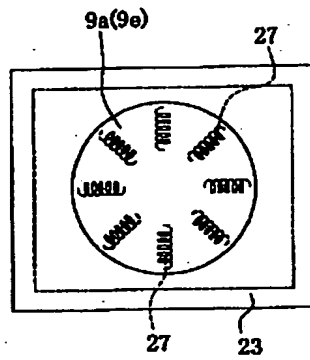
【図 21】



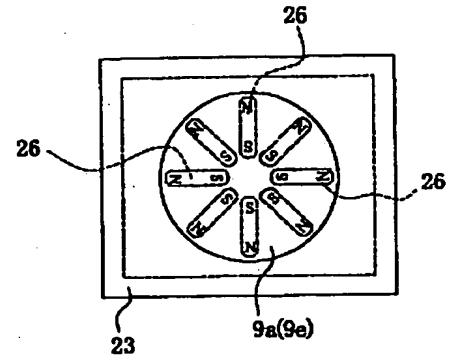
【図14】



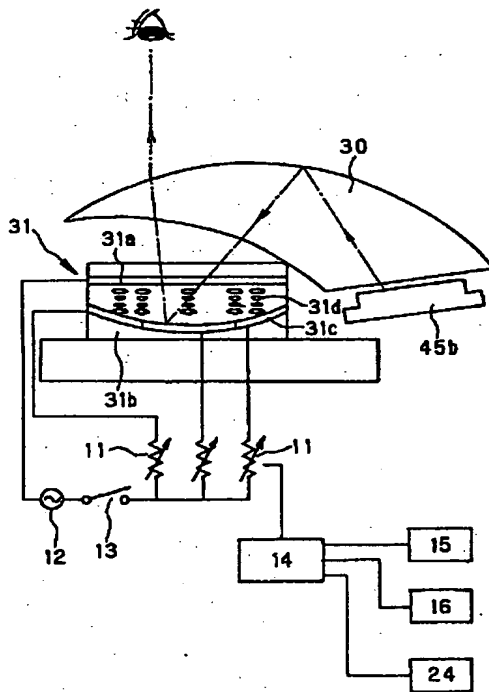
【図15】



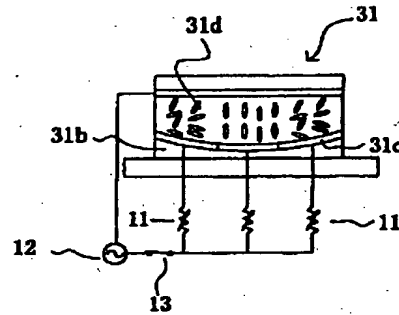
【図16】



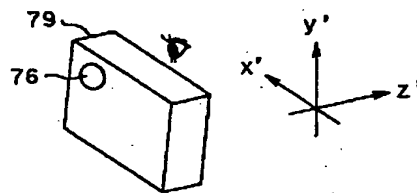
【図17】



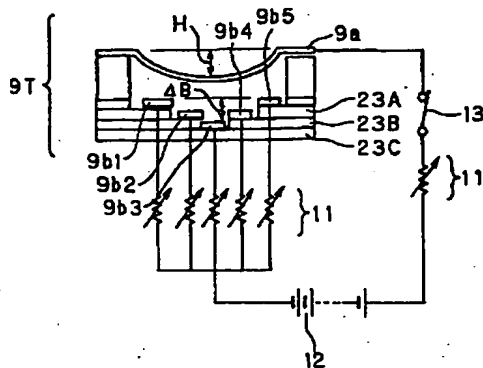
【図18】



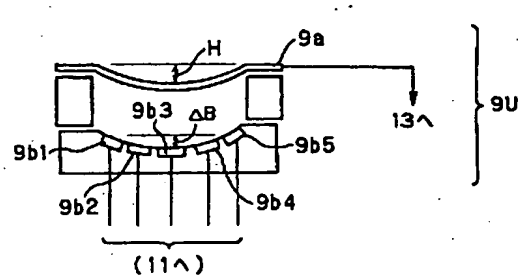
【図29】



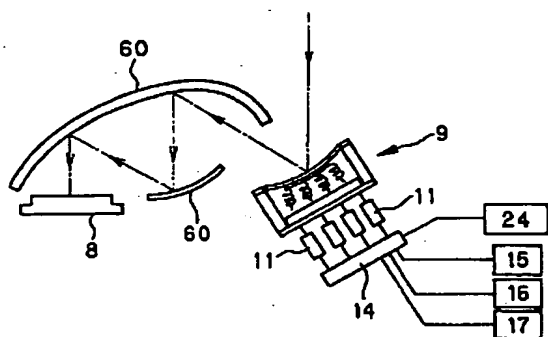
【図19】



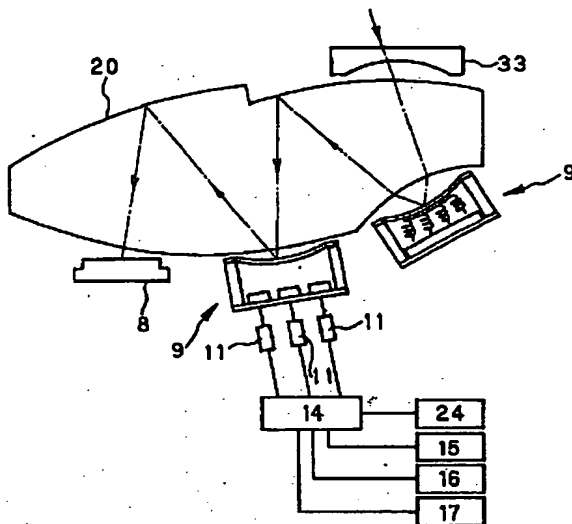
【図20】



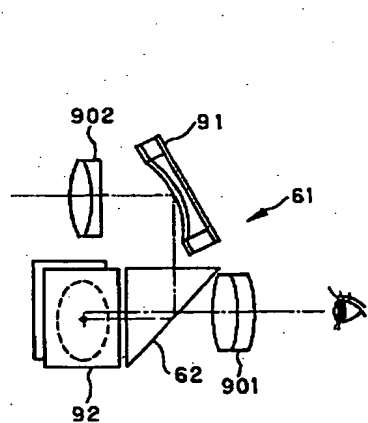
【図 2 2】



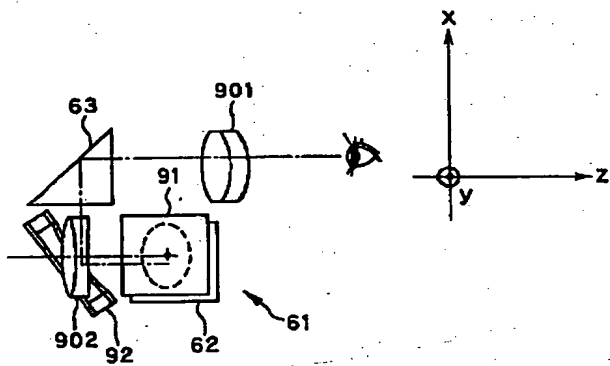
【図 2 3】



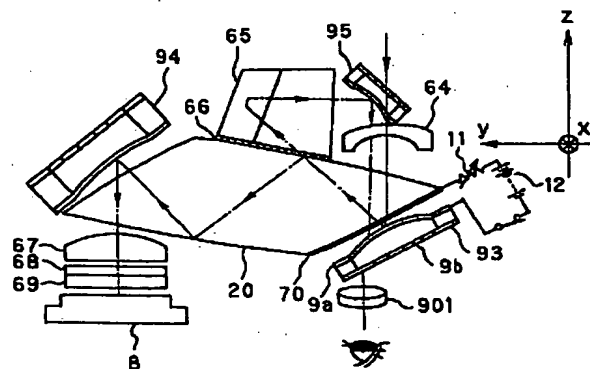
【図 2 4】



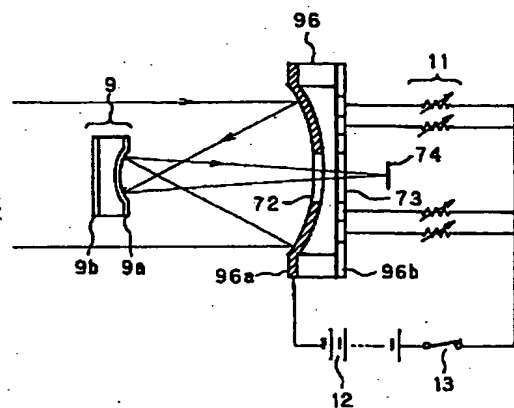
【図 2 5】



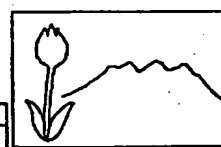
【図 2 6】



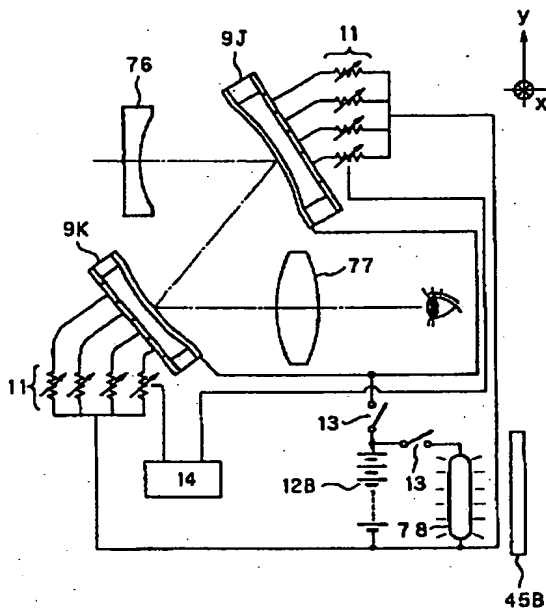
【図 2 7】



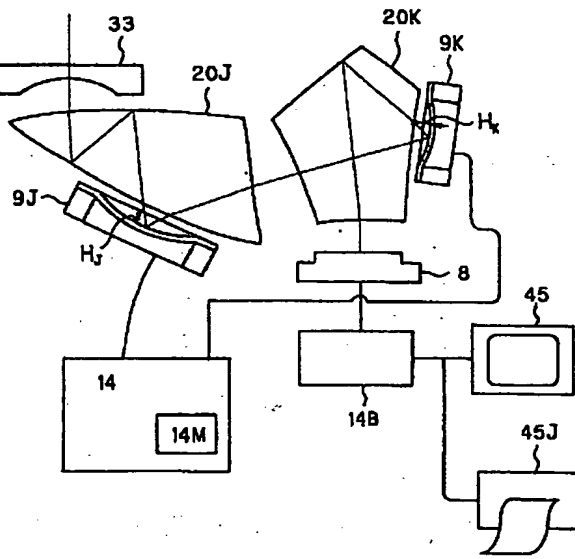
【図 3 6】



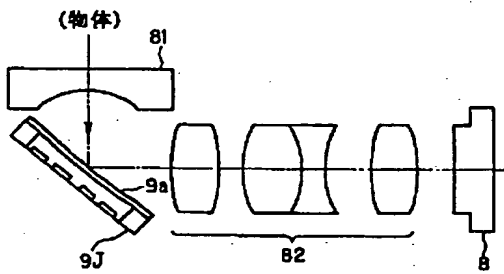
【図28】



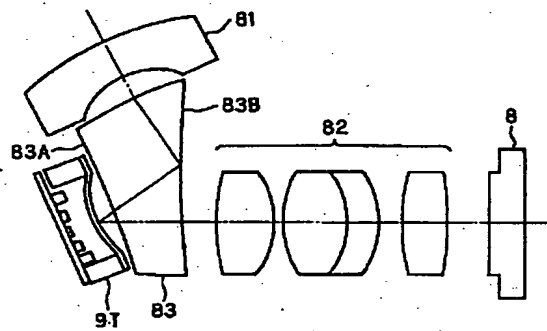
【図30】



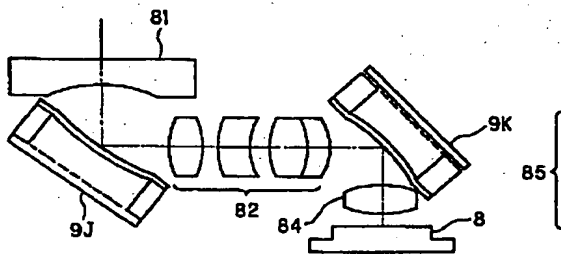
【図31】



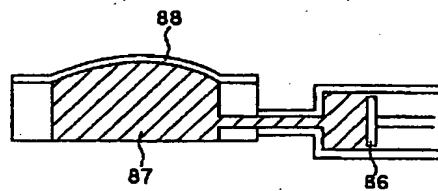
【図32】



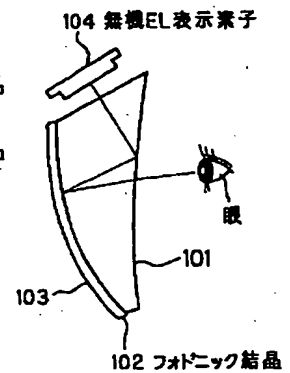
【図33】



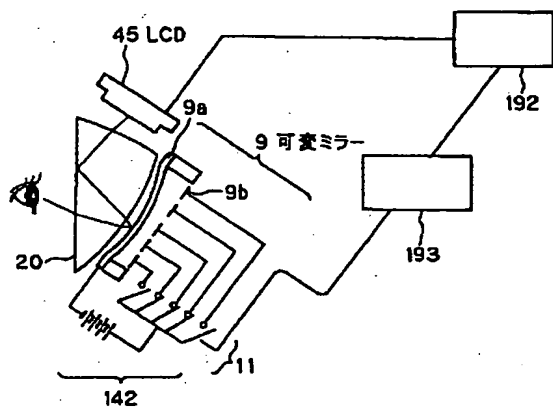
【図34】



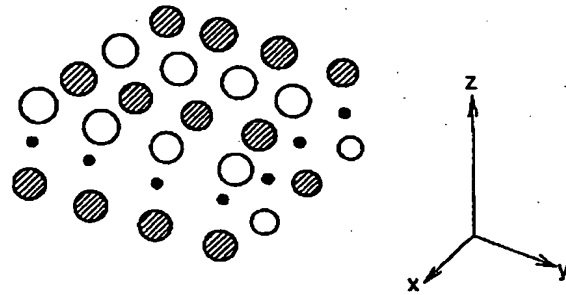
【図37】



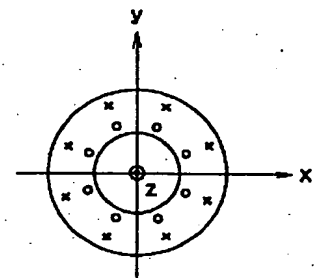
【図 35】



【図 38】

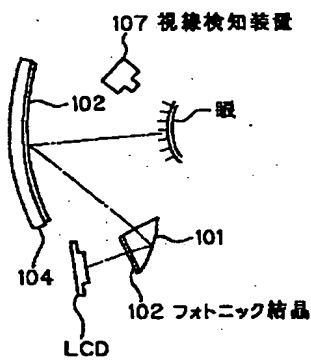


【図 42】

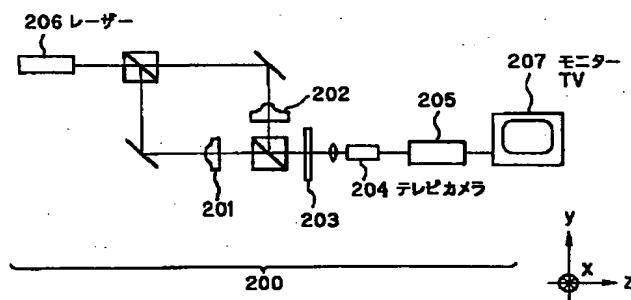


【図 46】

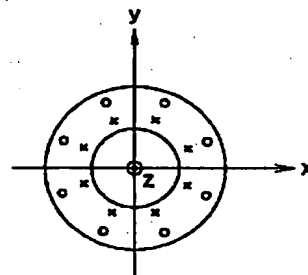
【図 39】



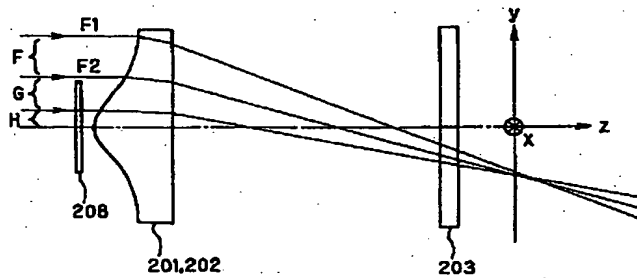
【図 40】



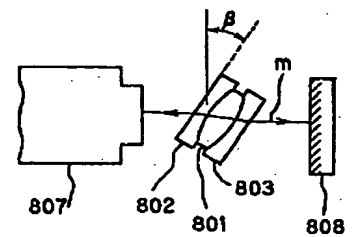
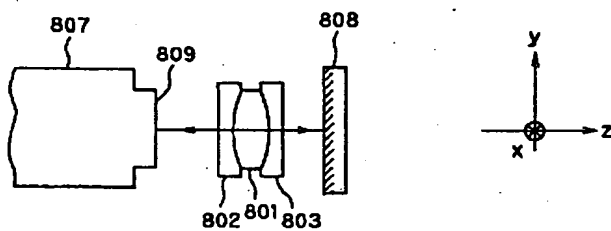
【図 43】



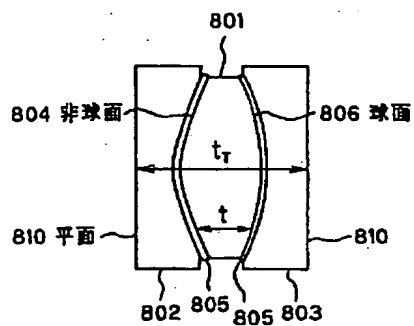
【図 41】



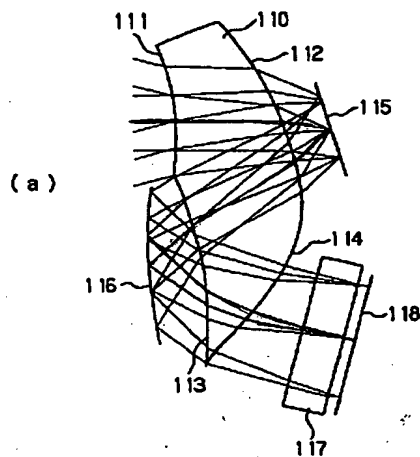
【図 45】



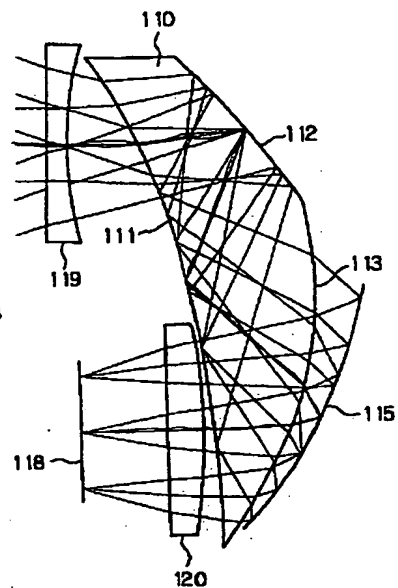
【図 4 4】



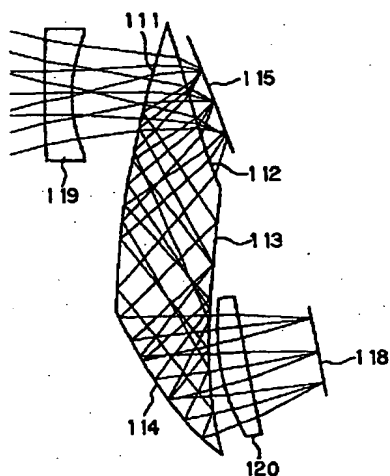
【図 4 7】



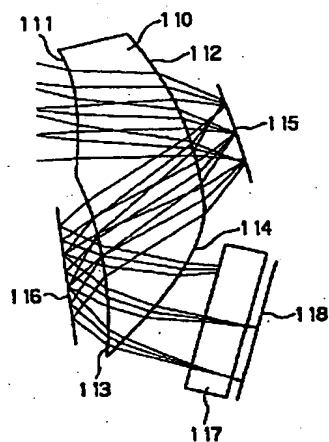
【図 4 8】



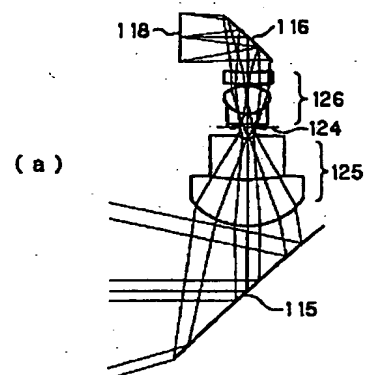
【図 4 9】



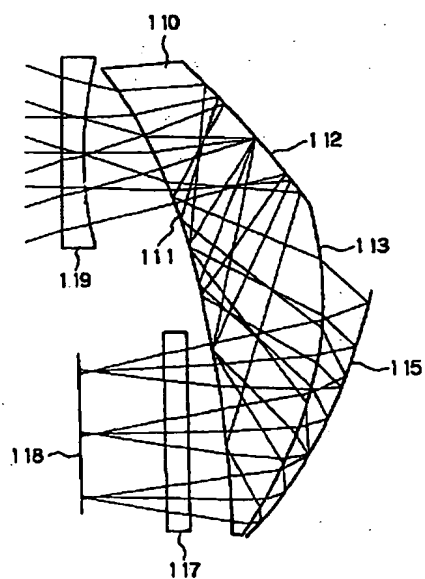
(b)



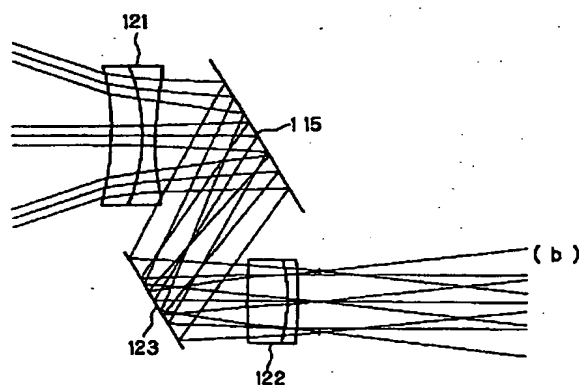
【図 5 3】



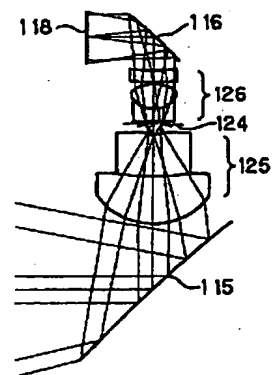
【図 5 0】



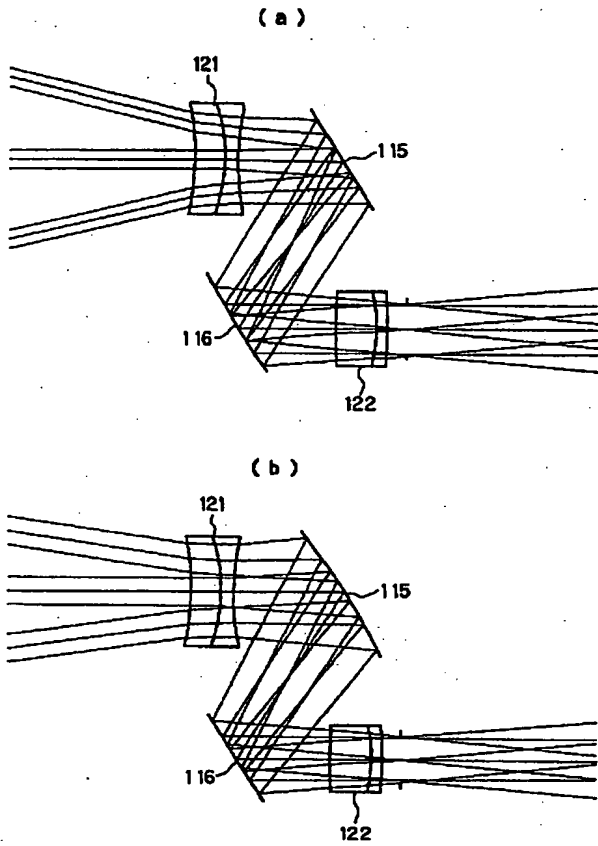
【図 5 2】



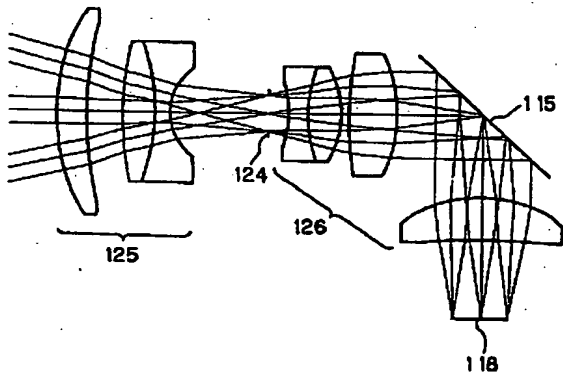
(a)



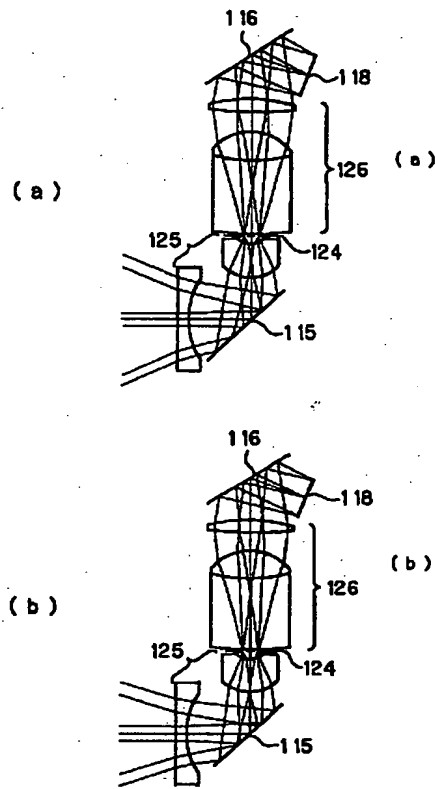
【図51】



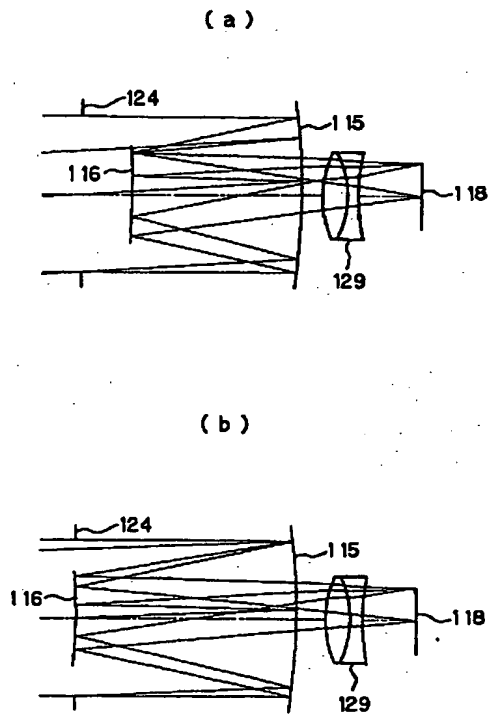
【図59】



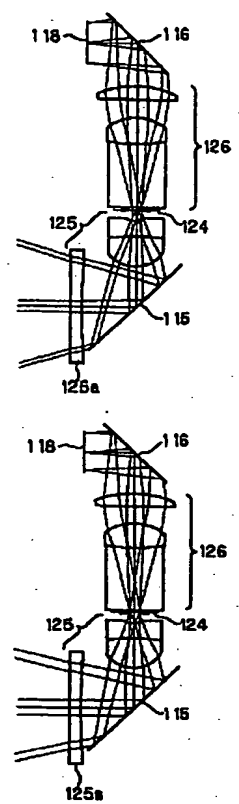
【図54】



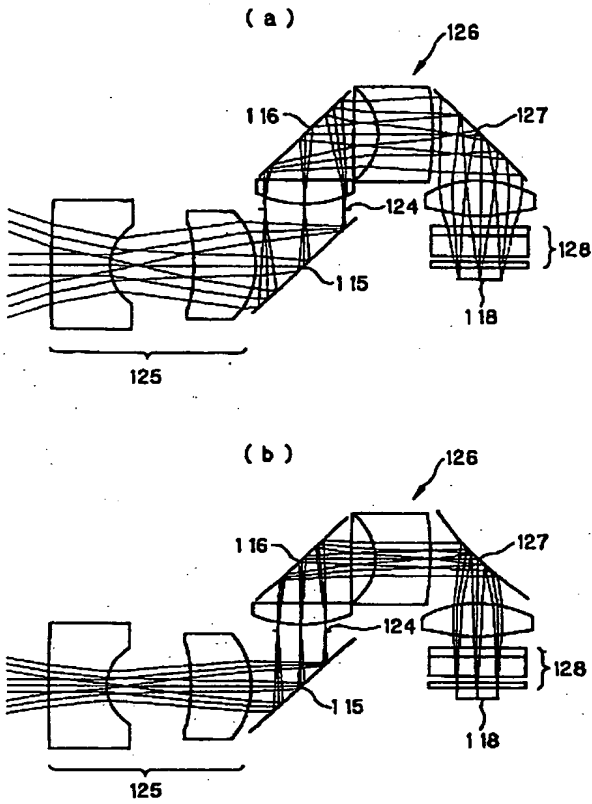
【図58】



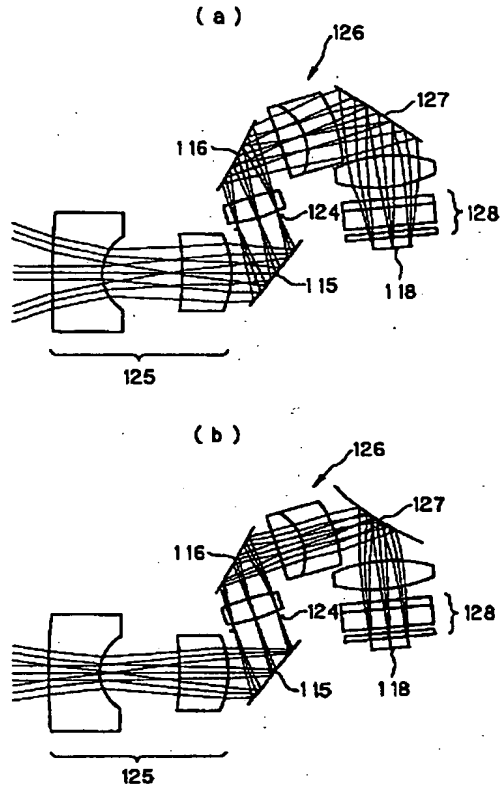
【図55】



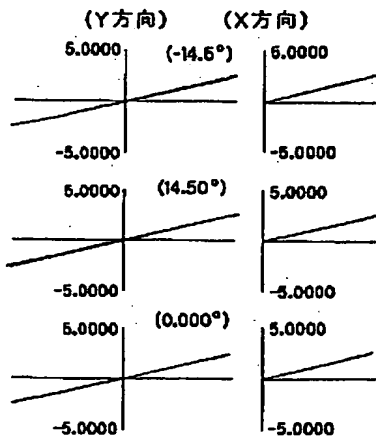
【図56】



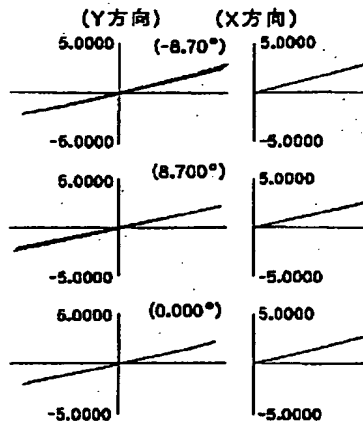
【図57】



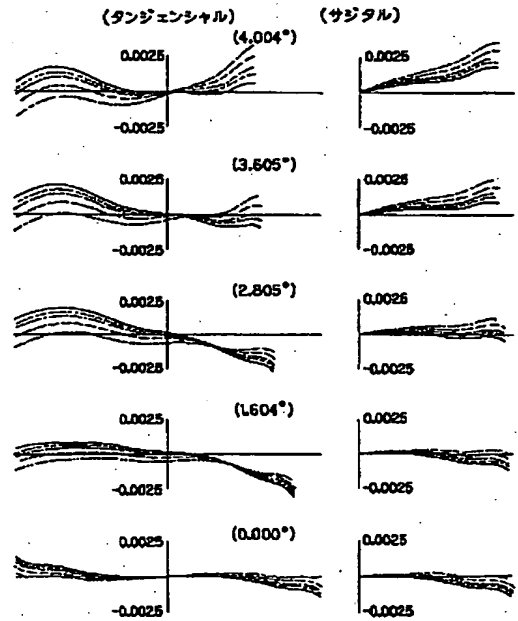
【図62】



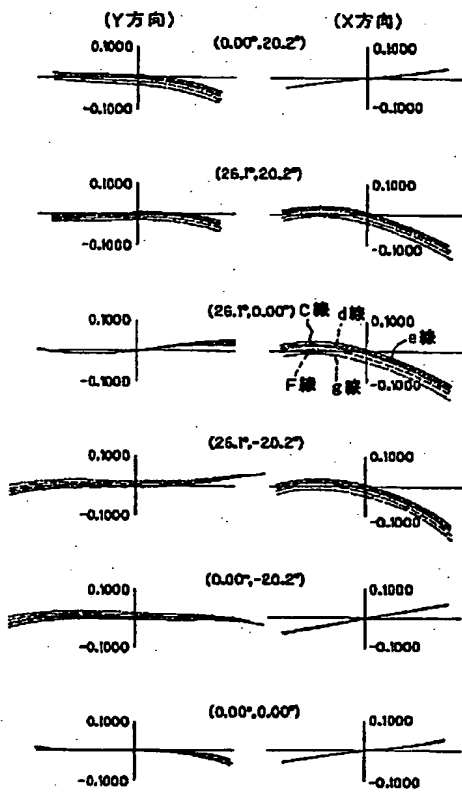
【図63】



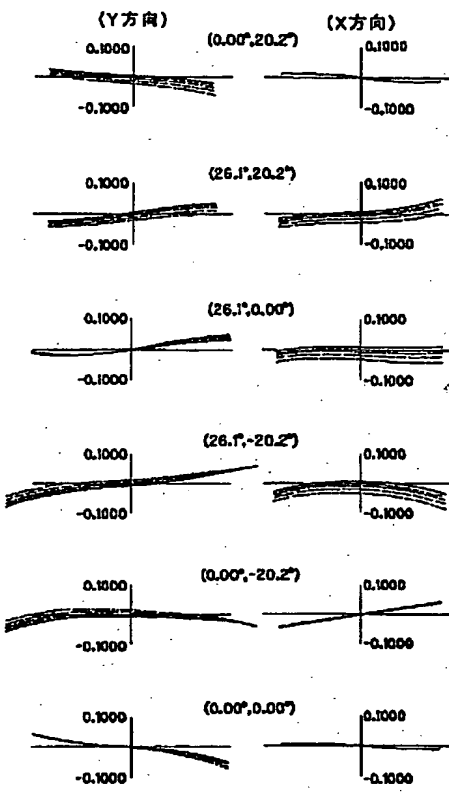
【図66】



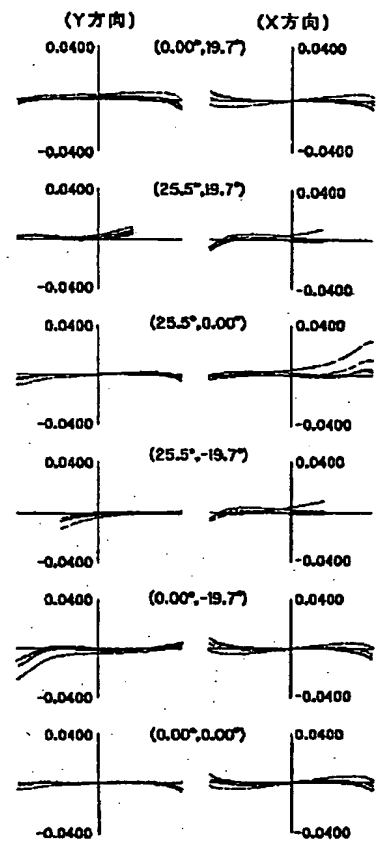
【図60】



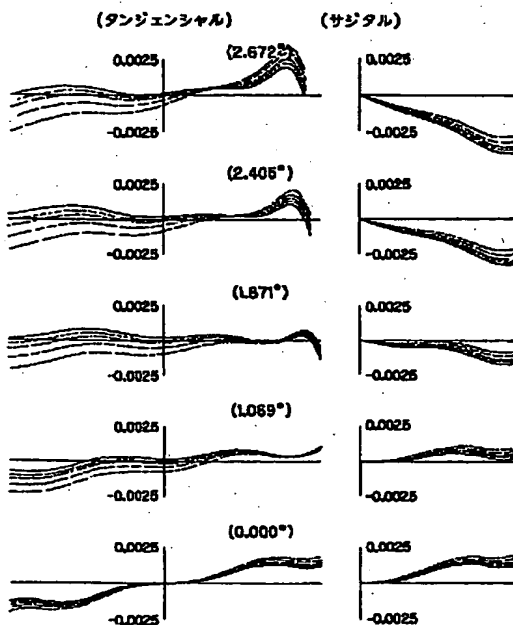
【図61】



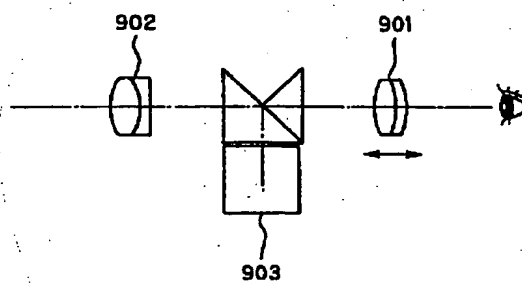
【図64】



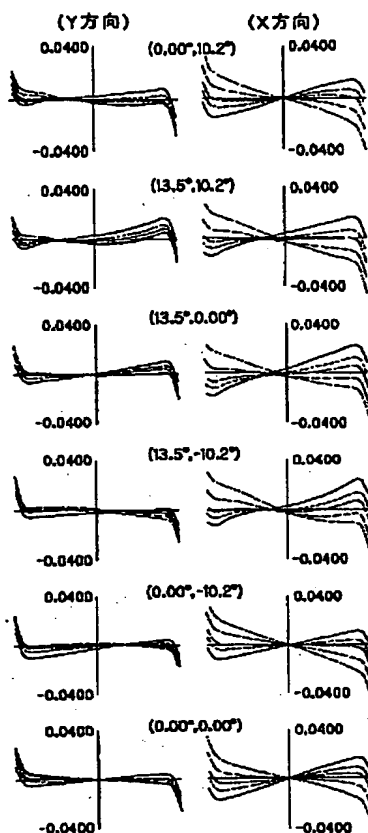
【図67】



【図68】



【図65】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 0 2 B 25/00		G 0 2 B 27/02	Z 2 H 0 5 1
27/02		G 0 2 F 1/13	5 0 5 2 H 0 5 4
G 0 2 F 1/13	5 0 5	G 0 3 B 5/00	J 2 H 0 8 7
G 0 3 B 13/36		13/06	2 H 0 8 8
5/00		13/12	2 H 1 0 0
13/06		17/02	2 H 1 0 1
13/12		17/17	5 C 0 2 2
17/02		19/12	
17/17		H 0 4 N 5/225	B
19/12			D
H 0 4 N 5/225		5/232	A
		5/64	Z
5/232		G 0 2 B 7/11	5 1 1 A
		G 0 3 B 3/00	N
5/64	5 1 1		A

(72)発明者 早川 和仁
東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目43番 2 号 オリ
ンパス光学工業株式会社内
(72)発明者 武山 哲英
東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目43番 2 号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

Fターム(参考) 2H011 AA03 BA31 CA21 DA00
2H018 AA02 AA03 AA11 AA21 AA22
AA26 AA27 BA02 BB01 BC01
BE00 BE01
2H042 DA02 DA10 DD11 DD13
2H044 DA01 DA02 DC02
2H049 CA01 CA06 CA09 CA11 CA30
2H051 AA00 BA41 EB20 GB01 GB13
2H054 AA01 BB01 BB02 CC03 CD00
CD03
2H087 KA02 KA03 KA14 LA12 MA00
NA07 RA01 RA27 RA28 RA32
RA34 RA41 RA42 RA43 SA00
TA01 TA02 TA03 TA04 TA05
TA06 UA01
2H088 EA42 HA06 MA01
2H100 AA31 BB03 BB05 BB06 BB09
CC01 CC07
2H101 DD01 DD02 DD03 DD09 DD16
DD22 DD28 DD65 FF00
5C022 AA00 AA09 AA13 AB21 AB55
AB66 AC09 AC31 AC54